

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Konstrukční návrh mobilního robotu pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách

Construction Design of Mobile Robot for Presentation to the Department of Robotics
Secondary Schools

Student:

Bc. Daniel Heczko

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Heczko**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: Konstrukční návrh mobilního robotu pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách
Construction Design of Mobile Robot for Presentation to the Department of Robotics Secondary Schools

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrh'nete varianty řešení možných koncepcí mobilního robotu pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Creo.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodno'te dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
- MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.
- SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters, positioned above a dotted line.

Podpis

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, же Высшая школа́ ба́нская – Техни́ческая универси́тета Остра́ва (да́ле же́н VŠB-TUO) ма́а пра́во невьде́лечне́ к све́ вни́тнии потре́бе дипло́мову пра́ци у́жи́т (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано́, же́ с VŠB-TUO, в пра́падѣ за́йма з же́й стра́ны, узавру́ лицен́нии смлouvé с опра́внѣнии́ у́жи́т дѣло́ в ро́зсahu §12 odst. 4 ау́торскѣ́го за́кона.
- было́ сже́днано́, же́ у́жи́т své́ дѣло́ – дипло́мову пра́ци́ же́бо посже́йну́т лицен́и к же́йму́ ву́жи́ти́ мо́гу же́н се́ соу́hlasem VŠB-TUO, же́ра́ же́ опра́внѣна́ в та́ковѣ́м пра́падѣ́ оде́ мне́ по́жа́дова́т пра́мѣ́ренý пра́спѣ́век на́ у́храду́ на́кля́ду, же́ре́ бы́лы VŠB-TUO на́ ву́твое́нии́ дѣ́ла́ ву́на́ло́же́ны (а́ж до́ же́йих́ skúте́чнѣ́е́ ву́ше́).
- беру на ве́домии, же́ оде́взда́нии́ své́ пра́це́ соу́hlasím се́ зу́ве́řejně́нии́ své́ пра́це́ по́dle за́кона́ ч. 111/1998 Sb. о́ ву́со́кы́х́ шко́лах́ а́ о́ зу́мѣ́нѣ́ а́ до́пла́нѣ́нии́ да́лше́их́ за́ко́ну (за́ко́н о́ ву́со́кы́х́ шко́лах́) ве́ зу́нѣ́нии́ по́здѣ́jше́их́ пра́дпи́су́ без о́hléду на́ ву́сле́dek же́й о́бха́joby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Daniel Heczko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Milíkov 240, 739 81

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování panu Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za jeho cenné rady, připomínky, trpělivost a ochotu při vedení diplomové práce. Poděkování patří také celé rodině a přítelkyni za podporu v průběhu studia.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HECZKO, D. *Konstrukční návrh mobilního robotu pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2016, 90s., Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem robotu pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách. V úvodní části je provedena analýza současného stavu robotů s displejem a popis servisní úlohy. Na základě této analýzy byly sestaveny požadavky, které by měl robot splňovat. Z důvodu častého transportu robotu, byla požadována možnost rozdělení na dvě části. Byly sestaveny dvě varianty podvozku a dvě varianty horního modulu, z nichž vzešla optimální varianta. Tato varianta byla podrobně zpracována a doplněna 3D modelem, výpočty a požadovanými výkresy.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HECZKO, D. *Construction Design of Mobile Robot for Presentation to the Department of Robotics Secondary Schools: master thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2016, 90p., Thesis head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

The thesis deals with construction design of mobile robot for presentation to the department of robotics secondary schools. The first part is an analysis of the current state of robot with display and description of the service task. Based on this analysis were compiled requirements robot should fulfill. Due to the frequent transport robot was split into two parts. Two variants of chassis were assembler and two variant sof upper module, from which emerged optional variant. This variant was properly elaborated and completed with 3D model, calculations and drawings.

Obsah

Seznam použitého značení	11
0. Úvod	12
1. Analýza současného stavu.....	13
1.1. Roboti s monitorem	13
1.1.1. Robot Air Bot	13
1.1.2. Robot HOSPi RIMO.....	14
1.1.3. Double robot	15
1.1.4. Robot Buddy	16
1.1.5. Robot Baby	17
1.1.6. Robot Boltr	18
1.1.7. Robot Reem	18
1.1.8. Robot Pepper	19
1.1.9. Robot Robbie.....	21
1.2. Popis servisní úlohy	22
2. Požadavkový list	24
3. Varianty řešení	25
3.1. Varianty podvozku.....	25
3.1.1. Varianta A – podvozek	25
3.1.2. Varianta B – podvozek.....	27
3.2. Varianty horního modulu.....	28
3.2.1. Varianta A – horní modul.....	28
3.2.2. Varianta B – horní modul	30
4. Kriteriaální analýza.....	32
4.1. Kriteriaální analýza – podvozek	32
4.1.1. Hodnocená kritéria	32
4.1.2. Stupnice hodnocení	33
4.1.3. Významnost kritérii	33

4.1.5.	Přiřazení kritérií a hodnocení variant	34
4.1.6.	Optimální varianta – podvozek	35
4.2.	Kriteriální analýza – horní modul	35
4.2.1.	Hodnocená kritéria	35
4.2.2.	Stupnice hodnocení	36
4.2.3.	Významnost kritérií	36
4.2.4.	Určení významností kritérií	36
4.2.5.	Přiřazení kritérií a hodnocení variant	37
4.2.6.	Optimální varianta – horní modul	38
4.3.	Kriteriální analýza – optimální varianta	38
5.	Rozpracování optimální varianty podvozku	39
5.1.	Konstrukce rámu	39
5.2.	Uložení pohonů a kol	41
5.2.1.	Spojka oldham	42
5.2.2.	Všesměrová kola	43
5.3.	Rozmístění elektroniky	44
5.3.1.	Mini PC	45
5.4.	Úchyty pro horní modul	46
6.	Rozpracování optimální varianty horního modulu	46
6.1.	Konstrukce rámu	46
6.2.	Uchytení komponent horního modulu k desce	47
6.3.	Rám tabletu	49
6.3.1.	Tablet	51
6.4.	Naklápění tabletu	52
6.4.1.	Kluzné pouzdro	53
7.	Krytování	54
7.1.	Krytování podvozku	54
7.1.1.	Ultrazvukový senzor	57

7.2.	Krytování horního modulu.....	58
8.	Spojení podvozku s horním modulem.....	60
9.	Výpočet a volba pohonů robotu	63
9.1.	Výpočet pohonů podvozku	63
9.1.1.	Volba pohonu podvozku.....	69
9.2.	Výpočet pohonů horního modulu	71
9.2.1.	Pohon pro nakládění tabletu	71
9.2.2.	Pohon pro natáčení ramene	72
9.2.3.	Volba pohonů horního modulu.....	72
10.	Volba akumulátoru	74
10.1.	Volba akumulátoru podvozku	74
10.2.	Volba akumulátoru horního modulu	75
11.	Popis zapojení elektroniky	76
11.1.	Gamepad Thrustmaster Wireless	78
12.	Cenová kalkulace.....	78
13.	Parametry robotu	80
14.	Závěr.....	82
15.	Použitá literatura.....	83
16.	Seznam obrázků.....	85
17.	Seznam tabulek a grafů	88
18.	Seznam příloh.....	89

Seznam použitého značení

Symbol	Popis	Jednotka
O_f	Valivý odpor	[N]
G	Tíhová síla robotu	[N]
m	Hmotnost robotu	[kg]
g	Gravitační zrychlení	[m*s ⁻²]
α	Úhel stoupání	[°]
f_K	Součinitel valivého odporu	[-]
O_s	Odpor stoupání	[N]
O_z	Odpor zrychlení	[N]
ϑ	Součinitel vlivu rotačních částí	[-]
a	Zrychlení robotu	[m*s ⁻²]
F_H	Hnací síla	[N]
F_{H1}	Hnací síla na jeden pohon	[N]
P_{H1}	Výkon jednoho pohonu	[N]
V	Rychlost robotu	[m*s ⁻¹]
M_{h1}	Moment potřebný na jednom pohonu	[Nm]
n_k	Otáčky kola	[min ⁻¹]
r_K	Poloměr kola	[m]
M_{tab}	Moment potřebný k naklápění tabletu	[Nm]
m_{tab}	Hmotnost tabletu s rámem a držáku	[kg]
l_{tab}	Vzdálenost osy rotace od těžiště sestavy tabletu	[m]
M_{rr}	Moment potřebný k natáčení ramene rotace	[Nm]
J_{rr}	Moment setrvačnosti	[kg*m ²]
E	úhlové zrychlení	[rad*s ⁻²]
l_{rr}	vzdálenost těžiště od osy rotace	[m]
I_j	Jmenovitá spotřeba proudu	[A]
I_{JR}	Redukovaná jmenovitá spotřeba proudu	[A]
I_K	Kapacita baterie	[Ah]
t	Doba provozu	[h]

0. Úvod

V současné době se servisní roboty stále více rozvíjejí. Mají mnoho uplatnění v armádě, zdravotnictví, stavebnictví, domácnosti a různých jiných odvětvích. Mobilní roboty mají možnost přesouvat se. Mohou být využity druhy lokomoce jako kolové, pásové, kráčející, plazící a podobně.

Cílem diplomové práce je navrhnout robot pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách. Důraz je kladen na jednoduchost konstrukce, snadnou ovladatelnost dobrou manévrovací schopnost a design. Vnější obal robotu je pro dojem velmi důležitý.

1. Analýza současného stavu

1.1. Roboti s monitorem

Pro inspiraci byly vyhledány roboty, které disponují obrazovkou. Jedná se o roboty menší (hračky pro děti) i o roboty větší ve tvaru humanoida.

1.1.1. Robot Air Bot

V Memorial Museum of Cosmonautics představili ruští konstruktéři pro vývoj inteligentních strojů svůj výtvar. Jedná se o nový interaktivní robot, který má rám pro montáž smartphone nebo tabletu.

Zařízení, připomínající labuť, s umělou inteligencí vyvinutou touto společností, která nedávno představila svůj první prototyp v oblasti interaktivních robotů, si rychle získalo sympatie lidí. Oblast použití robotů je velká: monitorování pacientů v nemocnicích, vzdálená "přítomnost" nemocných studentů ve škole.

Kromě těchto funkcí umí robot díky novému elektronickému "mozku" i další věci jako například, hlídání dětí. Robot nemůže nechat dítě bez dohledu, a komunikace. Je schopen hovořit, číst a vyprávět příběhy. Jde spát a probouzí se s dítětem.

Dalším rysem nového stvoření je, že všechna nastavení pro robotu a preference (například oblíbená tichá melodie), budou uloženy na tabletu nebo chytrém telefonu tak dlouho, jak bude potřeba, díky speciálnímu softwaru.

"Smart" robot se díky své schopnosti může nezávisle složit a "schovat" pod postel, když nejste poblíž, když slyší váš hlas - přijede.

Pokud jde o software pro nový interaktivní robot, lídrem je Android s platformou Google. V blízké budoucnosti se budou rozvíjet i další operační systémy, jako je iOS a Windows.

Robot je asi metr vysoký (rozložený) a váží 10 kg. Cena tohoto robotu se pohybuje kolem 15 tisíc Kč. [1]



Obr. 1 - Robot Air Bot [1]

1.1.2. Robot HOSPi RIMO

Panasonic Corp představila svého "HOSPi RIMO," robotu, který umožňuje jednoduchou komunikaci mezi vzdálenými místy.

HOSPi Rimo byl vyvinut kombinací autonomní technologie pohybu používané firmou "HOSPi" a malé Hi-Vision kamery, mikrofonu, displeje a malého projektoru. S těmito zařízeními, pacient a členové rodiny mohou konverzovat s lékařem tváří v tvář.

Rodinní příslušníci nebo personál, kteří jsou daleko od robotu, jej mohou přesunout na místo určení pomocí osobního počítače, displeje, webkamery, mikrofonu, joysticku, atd. Stejně jako hospitalizovaní pacienti nebo osoby v zařízení s pečovatelskou službou.

Pokud je místo určení uvedené uživatelem, může se robot samostatně přesunout do oblasti kolem něj. Jakmile se blíží k cíli, je možné řídit robotu pomocí joysticku.

Robot má možnost využití projektoru, informace a další věci než jen obličej uživatele lze promítat na zeď nebo na podlahu v blízkosti robotu. [2]



Obr. 2 - Robot HOSPi Rimo [2]

1.1.3. Double robot

Double robot - jedinečný nástroj pro práci z domova. Umožňuje revoluční novou úroveň interakce s vzdáleným týmem.

Tradiční videokonference jsou v dnešní době pravděpodobně nejdůležitějším nástrojem pro práci mezi pracovníky využívající tyto technologie na pracovišti. Nicméně, vzdálení pracovníci vědí, jak těžké může být naplánovat hovor nebo požádat někoho nastavit notebook pro video chat.

Mít svůj vlastní Double robot v kanceláři znamená, že můžete mít možnost toulat se kdekoli, aniž byste si museli naplánovat schůzku. Double má všechno, co máte rádi na video-hovorech, iPad je umístěn na mobilní základně, kterou má vzdálený pracovník pod kontrolou.

Zaměstnavatelé si mohou být jistí, že jejich vzdálení zaměstnanci nikdy nechybí na důležitých rozhovorech po celém pracovišti. Cena tohoto robotu, se pohybuje kolem 50 tisíc Kč. [3]



Obr. 3 - Double robot [3]

1.1.4. Robot Buddy

Robot Buddy se pohybuje na třech motorových kolech, které mu umožňují samostatný pohyb v prostoru. Jeho rychlost je až 70 centimetrů za sekundu a dokáže dokonce překonávat drobné překážky do výšky 1,6 centimetru, jako jsou přechody na koberce nebo kabely na zemi. Jeho výška je 56 centimetrů a váží 5 kilogramů.

Osmi palcový displej slouží pro jeho ovládání a nastavení a zobrazuje také tvář robotu. Vnitřní úložiště má kapacitu 16 GB, komunikace může probíhat bezdrátovým Wifi nebo Bluetooth připojením a životnost baterie je udávána v rozmezí 8 až 10 hodin.

Robot je vybaven více senzory, mezi které patří kamera, ultrazvukové, infračervené a tepelné senzory, dálkoměr a pozemní detektory. Vstupy a výstupy obsahují mikrofón, audio výstup a vestavěné reproduktory. Díky sensorům si robot dokáže zmapovat celý dům uživatele a umí se tak samostatně vyhnout překážkám.

Poskytuje několik funkcí, může zprostředkovat telefonní a video hovory pro uživatele, funguje jako kalendář a budík. Robot dokáže hlídat dům a zjišťovat případnou neobvyklou aktivitu jako je požár, tekoucí voda nebo zloděj. Uživatel může robotu ovládat na dálku prostřednictvím aplikace pro systémy iOS, Android a Windows a mají tak možnost si zkontrolovat svůj domov z pohledu jeho "očí".

Zájem o tohoto domácího robotu je zřejmě velký, protože se již po 24 hodinách zaplatila start-up kampaň na portálu Indiegogo. Robotu můžete získat podporou v částce necelých 14 tisíc Kč. Jeho distribuce je naplánována na květen 2016. Veřejné vydání se očekává v listopadu 2016. [4]



Obr. 4 - Robot Buddy [4]

1.1.5. Robot Baby

Domácí vzdělávací robot, přezdívaný Baby, byl představen na nedávném China Industry Fair in Shanghai. Jeho výška je 60 cm, a váží 15 kg. Pohybuje se na kolech až 1 metr za sekundu. Má 2 stupně volnosti v každém rameni a 2 stupně volnosti ve svém krku. Kamera robotu (kterou jde těžce najít, se nachází mezi jeho jasně modrými očima) slouží pro rozpoznávání obličejů, má určitý stupeň rozpoznávání řeči a detekci překážek.

Dotykový displej zabudovaný v hrudi zobrazuje vzdělávací obsah, který by mohl být použit pro dálkové vzdělávání. Studenti mohou programovat robotu pomocí vývojového diagramu. Pokud bude mít robot málo energie, může se vrátit do své nabíjecí stanice. [5]



Obr. 5 – Robot Baby [5]

1.1.6. Robot Boltr

Technologie se dostávají nejen do našich domovů, ale také do luxusních hotelů. Pokud bychom hledali nejmodernější vybavení v hotelech, zásadní vlnu inovací přináší značka Starwood Hotels.

Robotický sluha Boltr je schopen se pohybovat kolem hostů a jezdit výtahy. Z větší části, bude dodávat vybavení do pokojů místo lidské obsluhy. Když host zavolá na recepci a požádá o ručníky nebo kartáček na zuby, zaměstnanci hotelu vyšlou robot s požadovanými položkami na dané číslo pokoje.

Pomocí kombinace senzorů a WiFi/4G připojení ke komunikaci s hotelem a výtahovým softwarem se může robot dostat až k pokojům aniž by způsobil nějakou škodu nebo by někoho zranil. [6]



Obr. 6 - Robot Boltr [6]

1.1.7. Robot Reem

PAL Robotics pracuje na Reem-x nástupci kolových humanoidních robotů nějakou dobu. Teď ukázalo, své nejnovější vydání, nazvané Reem, což je jeho první komerční název.

PAL, španělská společnost se zájmy ve Spojených arabských emirátech, popisuje Reem jako humanoidního robotu, vybaveného autonomním navigačním systémem a dotykovým displejem. Společnost si myslí, že může být použit jako průvodce a bavič.

Jeho velký hrudník založený na dotykovém displeji má řadu aplikací, jako je například zobrazení mapy okolí.

Reem je 1,65 m vysoký, a může se pohybovat rychlostí asi 5 km za hodinu (pro srovnání, průměrná výška lidí v USA je jen něco málo přes 1,7 metrů, a typická lidská rychlost chůze je těsně pod 5 km za hodinu). Jeho základ je pevná kolová platforma, která obsahuje motory a lithiovou baterii, která zajistí chod robotu na osm hodin. Ale horní část trupu robotu je jako humanoid a zahrnuje motorizované paže s uchopovacíma rukama, pohyblivou hlavu vybavenou senzory, které umožňují sledovat a rozpoznávat tváře na multimediální dotykové obrazovce. [7]



Obr. 7 - Robot Reem [7]

1.1.8. Robot Pepper

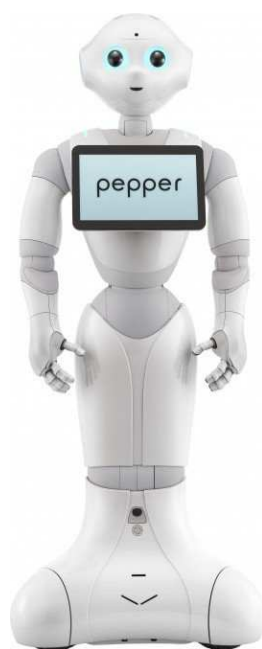
Jmenuje se Pepper a dokáže to, čeho mnohdy nejsou schopni ani někteří lidé. Vyhodnocuje lidské emoce, a podle toho adekvátně reaguje. Nižší cena z něho dělá zajímavý tip pro společníka do domácnosti.

Pokud chceme v blízké budoucnosti začlenit roboty do běžné domácnosti, tak se budou muset vypořádat s lidskými emocemi a umět na ně reagovat. Roboti budou muset být schopni sociální interakce. Polohumanoidní robot Pepper je proto navržen tak, aby své chování přizpůsobil rutinnímu chodu domácnosti a mohl se snadno začlenit do rodinného života.

Robot Pepper je společný projekt SoftBank Mobile a Aldebaran Robotics (vyrobili už mini humanoidní roboty NAO a NAO Next Gen). Na rozdíl od svých mladších brášek už Pepper není žádný mini robot sloužící jako hračka. Na výšku měří 121 cm a váží 28 kg.

Pro pohyb využívá otočný systém koleček a dosahuje s nimi rychlosti 3 km/h. Má dvě velké oči, které tvoří dvojice kamer, díky nimž je Pepper schopen rozeznat člověka až na vzdálenost 3 metrů a díky svému softwaru důkladně analyzovat jeho emoce. Pepper je vybaven WiFi připojením na internet (obsahuje ale i Ethernet konektor).

Robot je naprogramován tak, aby neustále zkoumal své okolí a vyhodnocoval co se děje (reaguje na emoce lidí podle mimiky tváře a zároveň podle tónu hlasu). Informace jak vhodně reagovat pak čerpá z neustále se vyvíjející databáze. V době komerční dostupnosti pro koncové zákazníky bude mít robot schopnost se i sám učit na základě vlastních zkušeností.



Obr. 8 - Robot Pepper [8]

Pepper je dále vybaven celou řadou senzorů. Hlavu tvoří 4 mikrofony, 2 RGB kamery, 3D senzor a trojice dotekových senzorů. V hrudi je zabudován gyroskopický senzor. Ruce pak obsahují dvojici dotekových senzorů. Co se týká dolní části těla, tak ta má 2 sonary, 6 laserových dálkoměrů, 3 senzory nárazu a podobně jako v hrudi se i zde nachází gyroskopický senzor. Robot je navíc i vybaven 10.1 palcovým dotekovým displejem. Je schopen až 12hodinového provozu s Li-Ion baterií o kapacitě 30.0Ah/795Wh.

Robotu omezuje absence dvou humanoidních nohou, takže schody budou pro něho představovat těžko řešitelný problém. To ale bude kompenzovat jeho nízká pořizovací cena. V Japonsku se začal prodávat v únoru 2015 za pořizovací cenu 198 000 jenů (zhruba 39 500 korun). [8]

1.1.9. Robot Robbie

Mezinárodní maloobchodní síť Tesco je jednou ze šesti společností, které aktuálně testují novinku technologické firmy RFspot pro sledování zboží na prodejní ploše a ve skladovém zázemí v reálném čase. Robotický systém pro mapování a analýzu logistických procesů pomocí RFID Tesco zkouší v odděleních s módou zn. F&F ve svých pěti obchodech ve Velké Británii. Pilotní projekt má pomoci zjistit, nakolik tento systém může zlepšit efektivitu logistických procesů a viditelnost zásob.

Řešení kombinuje dvě inovativní oblasti – robotiku a radiofrekvenční identifikaci maloobchodního zboží na úrovni položky. Dodavatel RFID robotů, kalifornská společnost RFspot, již pracuje na zlepšeních, která robotům umožní otevírat dveře mezi jednotlivými skladovými sekcemi i výtahy. Mobilní RFID roboti pro F&F zajistí neustálý přehled o skladových zásobách a pomohou zvýšit účinnost dodávek zboží na prodejní plochu, která je pro módní značky v konkurenčním boji kritická. Zařízení o výšce 183 cm fungují ve zkušebním režimu v pěti obchodech F&F ve Velké Británii. Jejich oficiální název zní RFspot Pro, ale personál obchodů jim říká „Robbie“. Roboti se pohybují mezi regály na prodejní ploše a ve skladovém zázemí prodejen a automaticky načítají položky označené pasivními UHF EPC Gen2 tagy. Dosud tuto činnost zajišťoval personál obchodů pomocí ručních terminálů. Některé oděvní firmy zkoušely koncept využívající RFID čtečky s dlouhým dosahem instalované ve stropě, ale toto řešení stále není dokonalé.

F&F označuje veškerý svůj sortiment pomocí EPC/RFID technologie ve všech 525 obchodech v celé Velké Británii. Zaměstnanci obchodů tagy načítají pomocí ručních čteček. Pomocí systému dodaného společností RFspot však mohou být stejná data shromažďována efektivněji a častěji, při snížených nárocích na personál. Technologie je navržena tak, aby mohlo být odstraněno maximum podílu lidské síly na provádění inventur. Podle zástupců F&F je skenování pomocí robotů mnohem rychlejší než s ručními terminály v ruce zaměstnanců. Ve srovnání s ručním skenováním konvenčních čárových kódů, je rychlost sběru dat mnohonásobně vyšší (a také mnohem přesnější). RFspot Pro projíždějí na třech kolech rychlostí cca 1m/s mezi regály a neustále skenují desítky tisíc položek na vzdálenost až 9 m. Robot je schopný vyhledat konkrétní položku v určité lokaci. Zástupci oděvní značky tvrdí, že načtení všech položek v rámci jednoho obchodu si v testovacím provozu vyžaduje přibližně hodinu, oproti 8 – 9 hodinám, které na realizaci inventury potřebovali živí zaměstnanci vybavení ručními terminály. Zařízení může

fungovat v plně autonomním režimu, kdy se pohybuje po přesně definovaných trasách, nebo ho speciálně vyškolený pracovník ovládá na dálku. SW aplikace vedoucího obchodů okamžitě upozorní na špatně umístěný kus zboží (na nesprávné lokaci), informuje ho o potřebě doplnit zboží, což vede ke zvýšení prodeje. Zákazníci mohou s roboty komunikovat, ovšem odpověď dostanou od zaměstnance na displeji. [9]



Obr. 9 - Robot Robbie [9]

1.2. Popis servisní úlohy

Robot bude sloužit pro prezentaci Katedry robotiky na středních školách. Z toho vyplývá, že bude využíván pouze ve vnitřních prostorech. Maximální sklon podlahy se může pohybovat kolem 8° .

Na robot v tomto prostředí nepůsobí chemické vlivy jako záření a radiace ani fyzické faktory jako vítr, zvýšená prašnost a podobně. Dále je nutno zohlednit povrch, po kterém se robot bude pohybovat, to znamená koberec, beton, parkety, linoleum.

Jelikož se na podlaze mohou vyskytovat různé překážky, jako kabely, práh a podobně požaduje se, aby robot zábrany překonal. Standardní výška prahu se pohybuje v rozmezí 20-40 mm. Druh lokomoce, je pro danou servisní úlohu vhodný kolový, protože není nutno jezdit po schodech.

Vzhledem k tomu, že může dojít ke kontaktu mezi robotem a pozorovateli (žáky), je robot opatřen kryty, tak aby nemohlo dojít k ohrožení nebo poranění osob (například vložení ruky do rotující součásti). Dále je vhodně krytována elektronika aby nedošlo

k její poškození vlivem postříkání tekutinou. Důraz je kladen jak na funkčnost krytů, tak na jejich design. Z tohoto důvodu bude při finálním krytování probíhat spolupráce s designérem.

Z hlediska bezpečnosti je nutno aby krytování bylo odolné proti stříkající vodě. Pokud v blízkosti robotu dojde k upuštění nebo vylití láhve s vodou nedojde ke kontaktu kapaliny s důležitými funkčními částmi.

Nosnost podvozku musí vyhovovat trupu (rameni) s obrazovkou, případně dalším modulům, které by místo této nástavby byly použitelné.

Jako monitor bude sloužit dotyková LCD obrazovka nebo tablet vhodné velikosti. Na obrazovce se může promítat prezentační video katedry, popřípadě hrát vědomostní hry.

Robot bude ovládaný operátorem v přímé viditelnosti. Nejedná se tedy o autonomní robot, který pracuje samostatně. Operátor bude mít robot celou dobu pod kontrolou. Senzorická část bude sloužit pro bezpečnost pozorovatelů. Ovládání a komunikace mezi operátorem a servisním robotem bude realizovaná přes WiFi. Maximální vzdálenost komunikace bude cca do 15 m. Pro dobrou manévrovatelnost postačuje řízení diferenční nebo se všesměrovými koly.

Akumulátory budou navrženy tak, aby robot na jedno nabití fungoval alespoň 2 hodiny. Pokud dojde k vybití, konstrukce bude uzpůsobena tak, aby se bylo možno k akumulátoru bezproblémově dostat a pohodlně nabíjet.

Důležitou částí bude samotná přeprava, z tohoto důvodu je nutné sestavení robotu alespoň ze dvou částí. Tak aby podvozek vážil maximálně 45 kg a trup (horní modul) 18 kg. Rozměry podvozku a ramene budou voleny tak, aby se bezproblémově vešly do kufru osobního auta. Přeprava tak bude snadnější. Naložení a vyložení zvládne jeden člověk.

Výška robotu by měla být volena tak, aby bylo dobře vidět na obrazovku. Šířka robotu by měla dovolovat projetí přes dveře 800 mm. Pokud by byly dveře menší, je nutno robot rozložit, a v nakloněné poloze přenést.

2. Požadavkový list

Na základě rešerše (přehledu různých robotů s monitorem) a popisu servisní úlohy byl sestaven požadavkový list, ve kterém byly zvoleny následující parametry.

	Parametr	Hodnota
Konstrukce robotu	Maximální výška	1300 mm
	Maximální šířka	780 mm
	Minimální výška podvozku	50 mm
	Maximální rychlost	0,5 m/s
	Maximální zrychlení	0,5 m ² /s
	Počet kol	4
	Řízení	Dobrá manévrovatelnost
	Napájení	12; 24 V
	Výdrž akumulátoru	2 h
	Rozložení robotu na 2 části	Pro transport
	Maximální hmotnost podvozku	45 kg
	Maximální hmotnost trupu	18 kg
Řízení a vybavení	Monitor	LCD, tablet
	Ovládání na vzdálenost	15 m
	Senzory	Ultrazvukové

Tabulka 1 - Požadavkový list

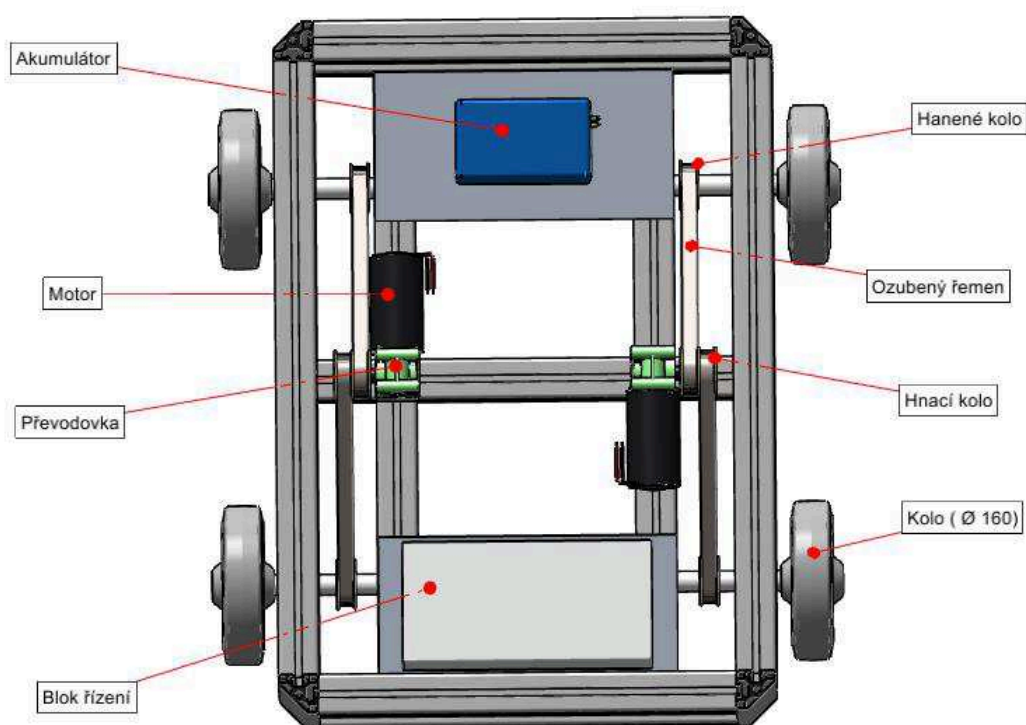
3. Varianty řešení

3.1. Varianty podvozku

Byly navrženy dvě varianty podvozku s různým ovládáním lokomočního ústrojí, dále jsou zvoleny různé typy kol a počet pohonů.

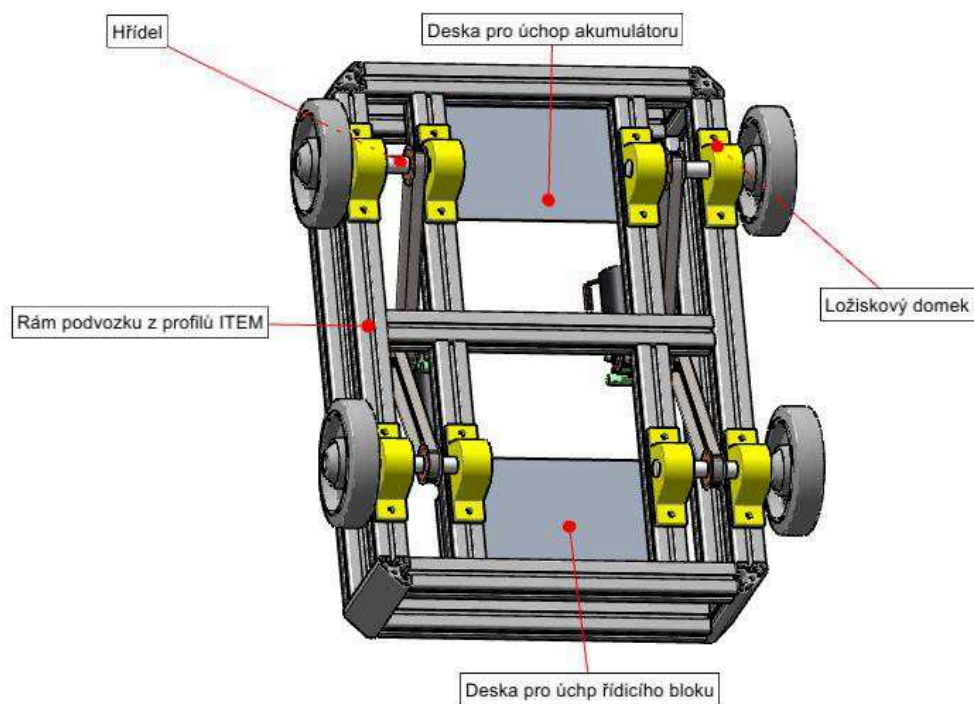
3.1.1. Varianta A – podvozek

Rám varianty je tvořen profily item. Je zde využito diferenční řízení (smykem), které zajišťují dva motory. Motory s převodovkami jsou uchyceny na středovém profilu. Převod mezi hnacím a hnacím kolem zajišťuje ozubený řemen (Obr. 10). Jsou zde použita gumová kola o průměru 160 mm.



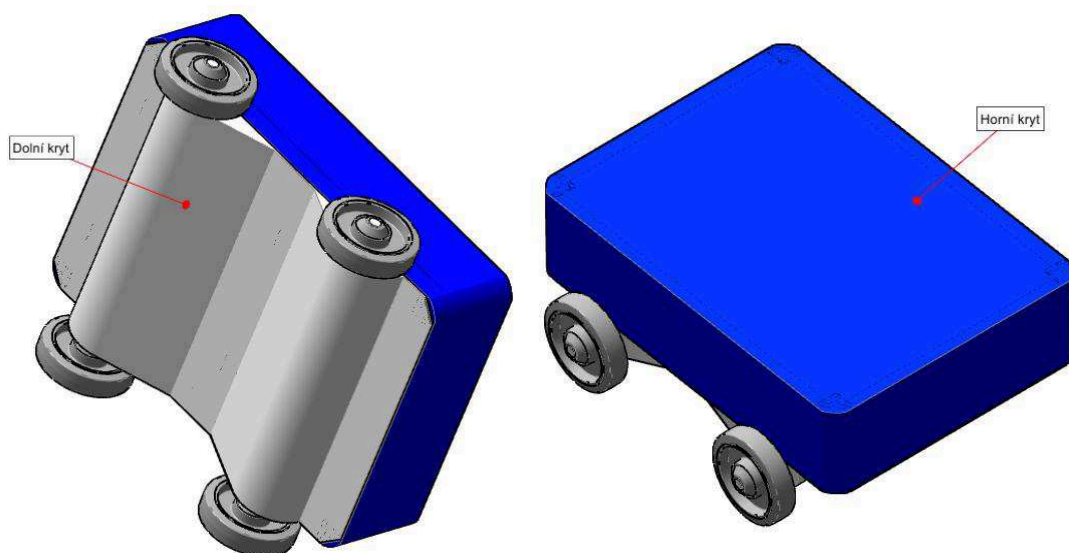
Obr. 10 - Varianta A – podvozek

Akumulátor a blok řízení je umístěn na plastových deskách, které jsou uchyceny na vzpěrách rámu (Obr. 11).



Obr. 11 - Varianta A - podvozek_2

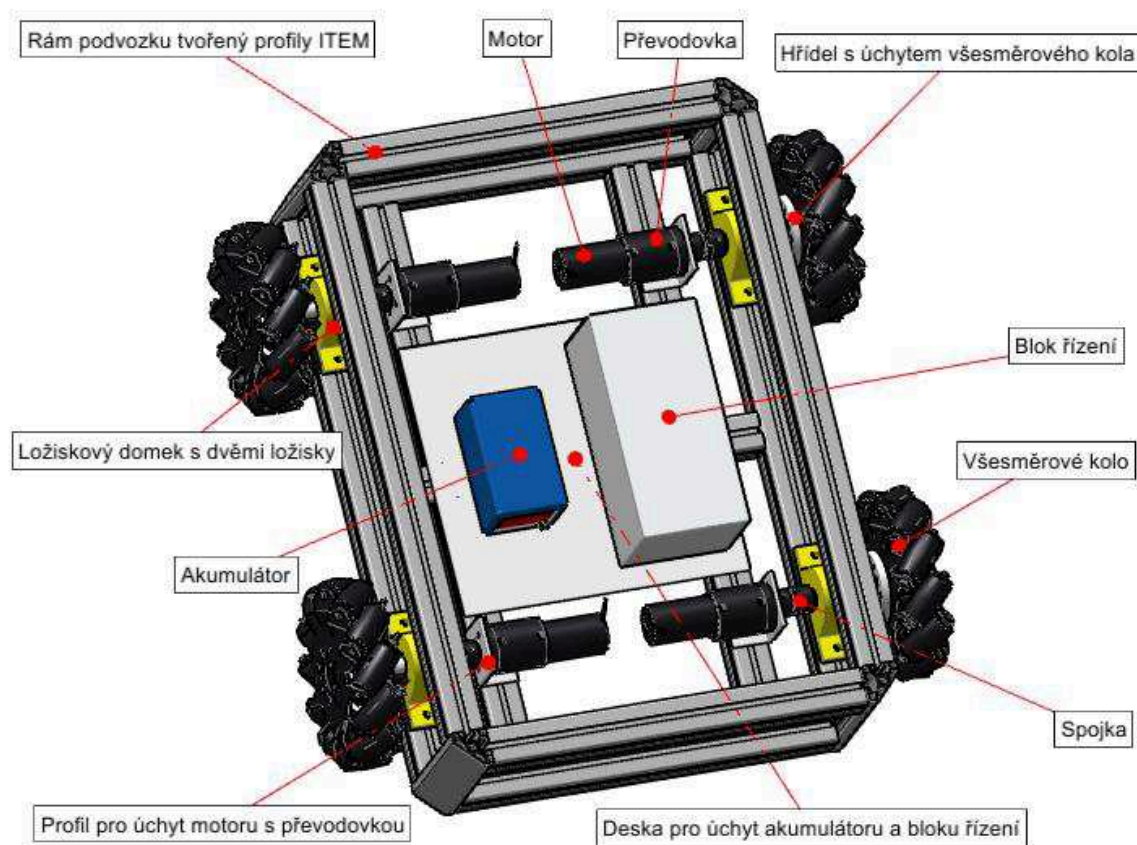
Hřídel kola je uložena ve dvou ložiskových domecích s kuličkovým ložiskem. Krytování varianty je provedeno plastovým krytem spodní a horní částí.



Obr. 12 - Varianta A - podvozek – krytování

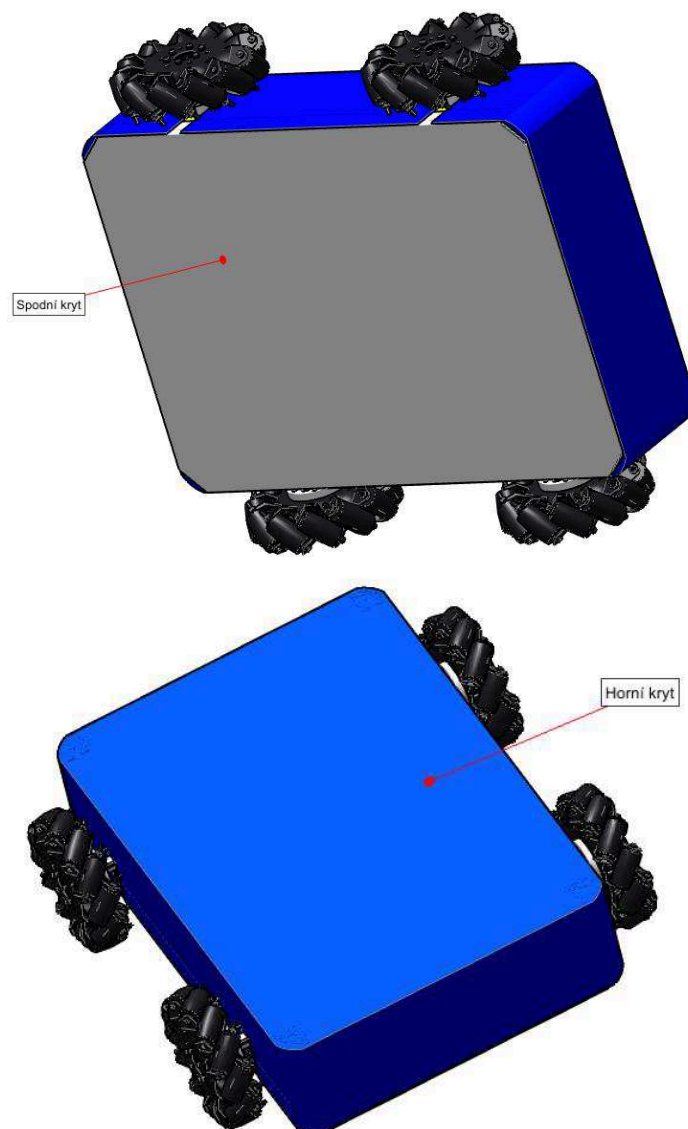
3.1.2. Varianta B – podvozek

Podvozek je opět tvořen z profilů item. Pro pohon jsou zvoleny čtyři motory s převodovkami, které jsou umístěné v ose kola. Hřídel kola je uložena v ložiskovém domku se dvěma kuličkovými ložisky, spojení s hřídelí převodovky zajišťuje spojka oldham. Všesměrová kola, která jsou použita u této varianty, vyrábí firma AndyMark (Obr. 13).



Obr. 13 - Varianta B – podvozek

Akumulátor s blokem řízení je umístěn na plastové desce uprostřed podvozku. Krytování je obdobné jako u předchozí varianty, jsou použity dva plastové kryty (Obr. 14).



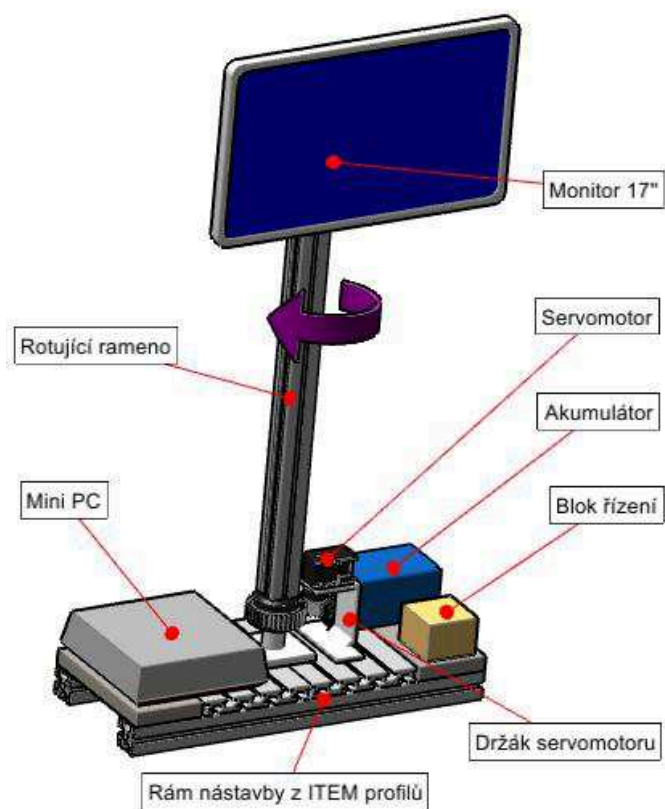
Obr. 14 - Varianta B – krytování

3.2. Varianty horního modulu

Byly navrženy dvě varianty, které mají různé možnosti naklápění a natočení obrazovky.

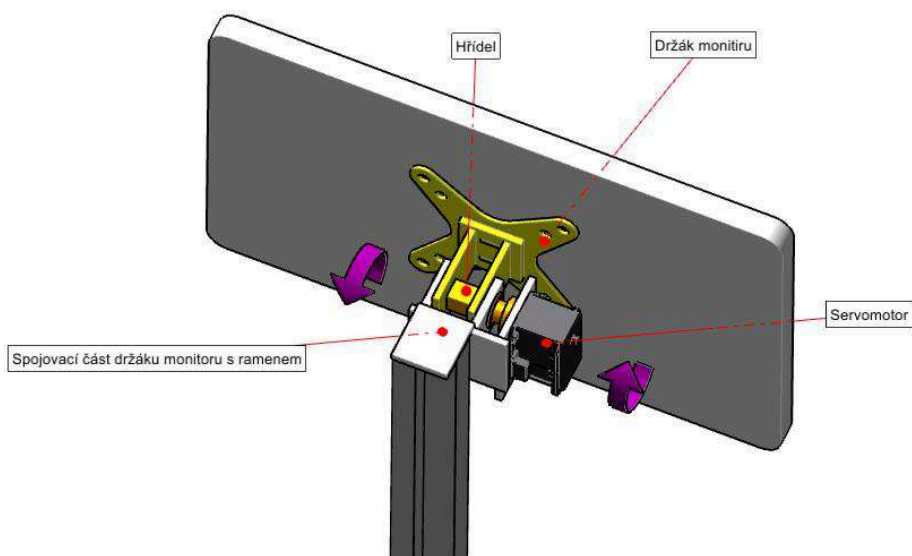
3.2.1. Varianta A – horní modul

Rám varianty je tvořen z profilů item. Rameno rotace je umístěné ve středu rámu, rotaci zajišťuje servomotor ozubeným převodem. Dále je k rámu přichycený mini PC, který slouží k napájení a ovládání monitoru.



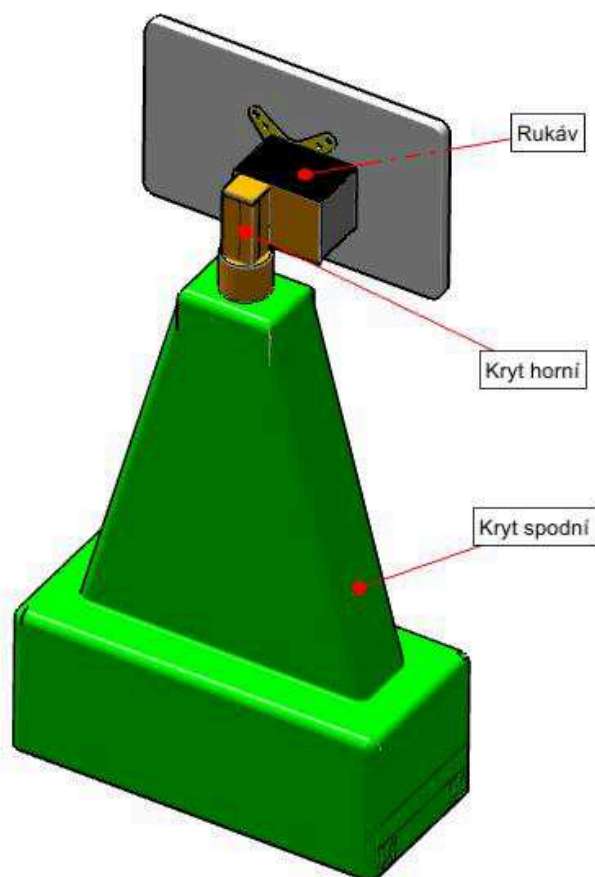
Obr. 15 - Varianta A - horní modul

K držáku je uchycen monitor, z druhé strany je držák nasazen na tvarovou hřídel, která je spojena se servomotorem. Pohon a hřídel jsou uloženy v rámu, který je uchycen na rameni rotace.



Obr. 16 - Varianta A - naklápění monitoru

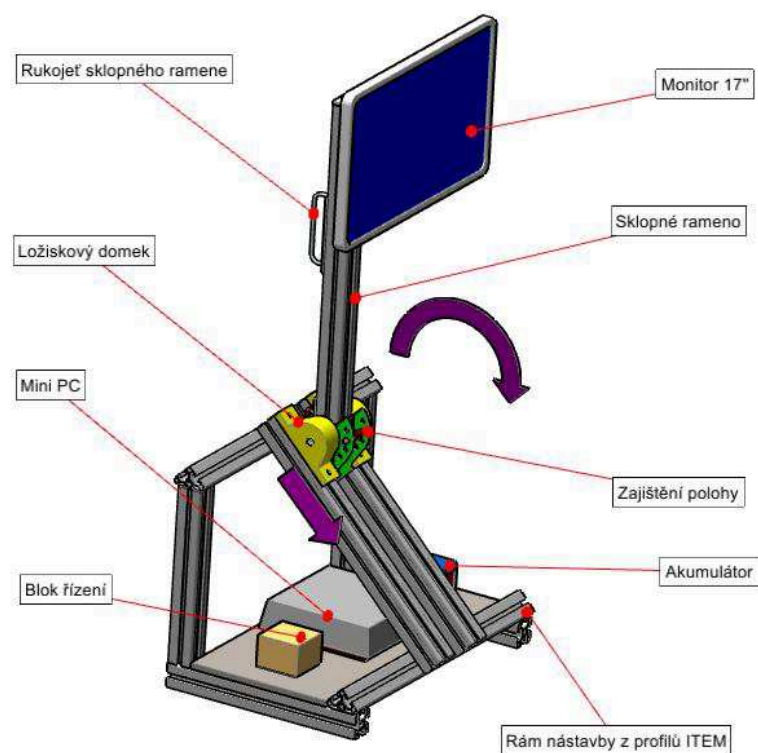
Krytování je provedeno třemi kryty. Kde spodní kryt je usazen pevně ke konstrukci a horní kryt se otáčí s ramenem rotace. Pro krytování naklápění je zvolen rukáv.



Obr. 17 - Varianta A – krytování

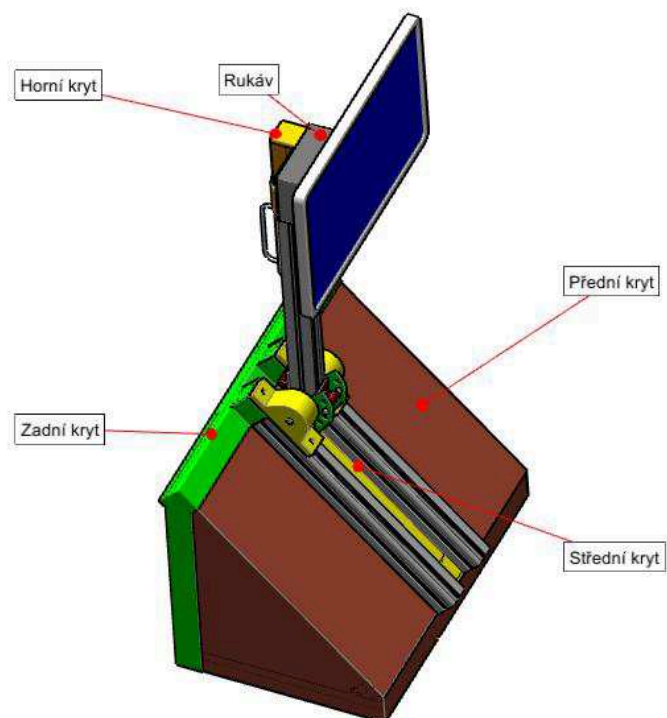
3.2.2. Varianta B – horní modul

Rám je tvořen profily item. Veškerá elektronika je uložena uprostřed rámu na plastové desce. Rameno, které je uložené v ložiskových domcích, má dva stupně volnosti. Může se pohybovat po profilech, jedná se o manuální pohyb, kde se ložiskový domek zajistí v požadované poloze. Druhým pohybem, rovněž manuálním je naklápění ramene v ose ložiskových domků. Funkce mini PC a naklápění monitoru je stejná jak u předchozí varianty.



Obr. 18 - Varianta B - horní modul

Pro krytování jsou použity čtyři kryty. Zadní kryt, přední kryt a střední kryt chrání veškerou elektroniku umístěnou na rámu horního modulu. Kryt pro naklápění je stejný jak u předchozí varianty.



Obr. 19 - Varianta B - krytování

4. Kriteriaální analýza

Jedná se o metodu, pomocí které je zvolena optimální varianta. Jsou určena jednotlivá kritéria, podle kterých se bude rozhodovat. Dále je třeba určit stupnici hodnocení. Ke každé variantě a kritériím je přiřazena určitá hodnota. Váha významností jednotlivých kritérií je určena pomocí metody porovnání páru v trojúhelníku a počtu voleb. Určené body jednotlivým variantám je nutno vynásobit váhou významností, z čehož vyjde vážený index. Tyto indexy pro každou variantu je potřeba sečíst a porovnat, která z variant je optimální. Vyhrává varianta s nejvíce body.

Jelikož se robot skládá z podvozku a horního modulu, je kriteriaální analýza provedena pro každou část zvlášť.

4.1. Kriteriaální analýza – podvozek

4.1.1. Hodnocená kritéria

Pro kriteriaální analýzu podvozku byla zvolena následující kritéria.

Hodnocená kritéria	Název	Popis
1	Hmotnost	Celková hmotnost
2	Cena	Přibližná cena
3	Náročnost konstrukce	Náročnost a složitost konstrukce
4	Energetická náročnost	Spotřeba energie
5	Manévrovatelnost	Manévrovací schopnost

Tabulka 2- Hodnocená kritéria podvozku

4.1.2. Stupnice hodnocení

Pro hodnocení kritérií jednotlivých variant byla zvolena tato stupnice.

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 3 - Stupnice hodnocení

4.1.3. Významnost kritérií

Nejvyšší	2
Nejnižší	1

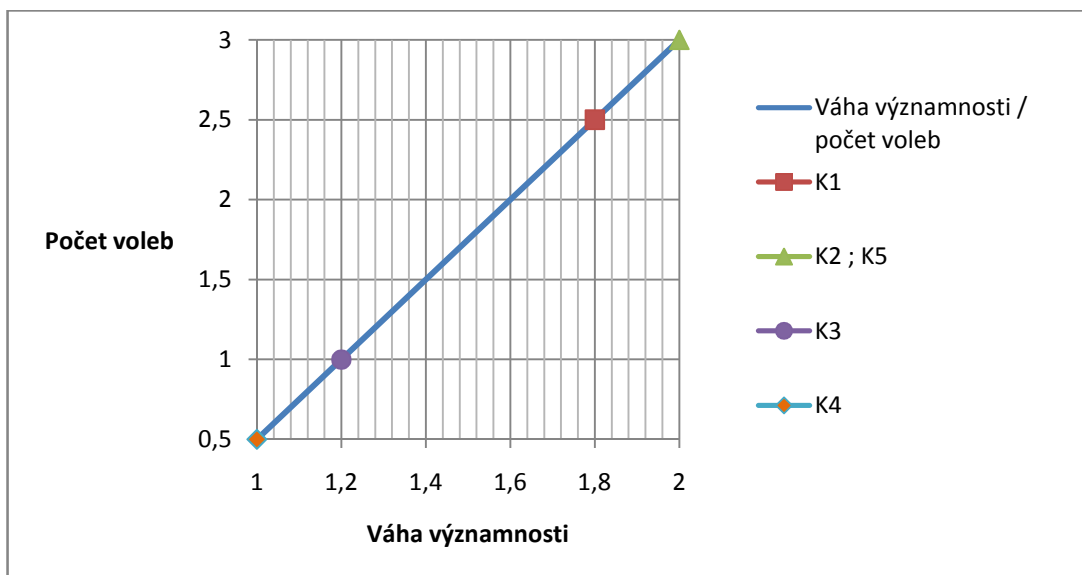
Tabulka 4 - Významnost kritérií

4.1.4. Určení váhy významností kritérií

Pomocí metody porovnání párů se určí váhy významnosti jednotlivých kritérií (Graf 1). Po přiřazení hodnot u jednotlivých variant a váhou významnosti můžeme spočítat konečný počet bodů a zjistit, která varianta je optimální. Optimální varianta je ta, která získá nejvíc bodů.

Kritéria				Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
k1	k1	k1	k1	2,5	3	1,8
k2	k3	k4	k5			
	k2	k2	k2	3	1 - 2.	2
	k3	k4	k5			
		k3	k3	1	4	1,2
		k4	k5			
			k4	0,5	5	1
			k5			
				3	1 - 2.	2

Tabulka 5- Určení váhy významnosti kritérií podvozků



Graf 1 - Závislost počtu voleb na váze významnosti

4.1.5. Přiřazení kritérií a hodnocení variant

Varianta A:

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria I_{ij}^*
k1	4	1,8	7,2
k2	5	2	10
k3	3	1,2	3,6
k4	5	1	5
k5	4	2	8
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty A:			33,8

Tabulka 6- Hodnocení varianty A – podvozek

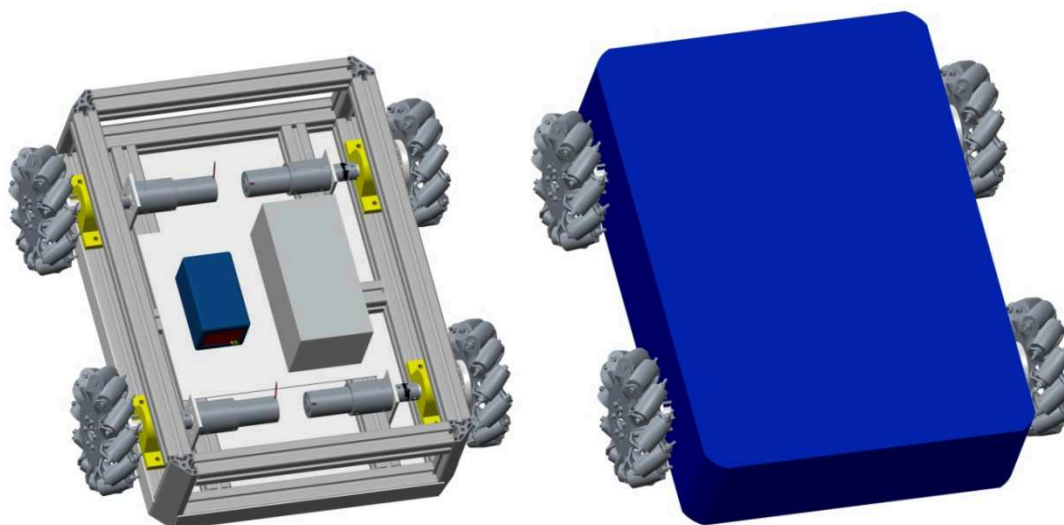
Varianta B:

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria I_{ij}^*
k1	4	1,8	7,2
k2	4	2	8
k3	5	1,2	6
k4	4	1	4
k5	6	2	12
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty B:			37,2

Tabulka 7 - Hodnocení varianty B – podvozek

4.1.6. Optimální varianta – podvozek

Optimální variantou podvozku je varianta B – se čtyřmi pohony a všesměrovými koly.



Obr. 20 - Optimální varianta podvozku

4.2. Kriteriační analýza – horní modul

4.2.1. Hodnocená kritéria

Pro kriteriační analýzu horního modulu byla zvolena následovná kritéria.

Hodnocená kritéria	Název	Popis
1	Hmotnost	Celková hmotnost
2	Cena	Přibližná cena
3	Náročnost konstrukce	Náročnost a složitost konstrukce
4	Energetická náročnost	Spotřeba energie
5	Stupeň automatizace	Porovnání automatizace

Tabulka 8 - Hodnocená kritéria horního modulu

4.2.2. Stupnice hodnocení

Pro hodnocení kritérií jednotlivých variant byla zvolena tato stupnice.

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 9 - Stupnice hodnocení

4.2.3. Významnost kritérií

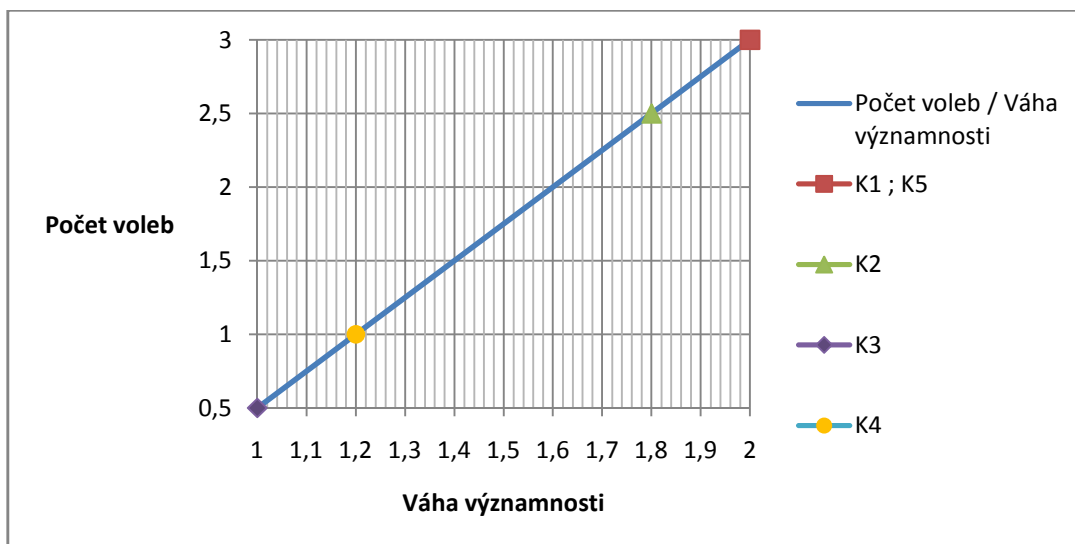
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tabulka 10 - Významnost kritérií

4.2.4. Určení významností kritérií

Kritéria				Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
k1	k1	k1	k1	3	1-2.	2
k2	k3	k4	k5			
	k2	k2	k2	2,5	2.	1,8
	k3	k4	k5			
		k3	k3	0,5	4.	1
		k4	k5			
			k4	1	3.	1,2
			k5			
				3	1-2.	2

Tabulka 11- Určení váhy významnosti kritérií horního modulu



Graf 2- Závislost počtu voleb na váze významnosti

4.2.5. Přiřazení kritérií a hodnocení variant

Varianta A:

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria I_{ij}^*
k1	5	2	10
k2	5	1,8	9
k3	5	1	5
k4	4	1,2	4,8
k5	6	2	12
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty A:			40,8

Tabulka 12- Hodnocení varianty A - horní modul

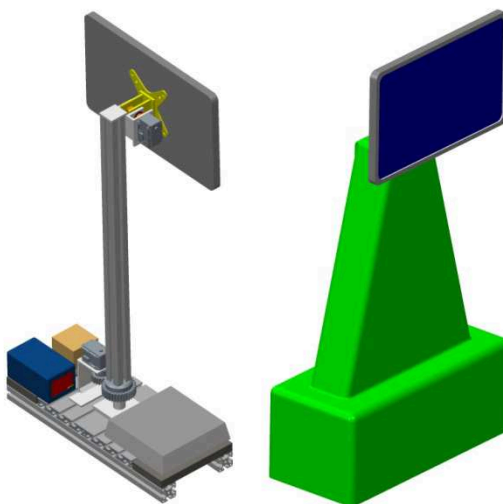
Varianta B:

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria I_{ij}^*
k1	4	2	8
k2	5	1,8	9
k3	3	1	3
k4	5	1,2	6
k5	4	2	8
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty B:			34

Tabulka 13- Hodnocení varianty B - horní modul

4.2.6. Optimální varianta – horní modul

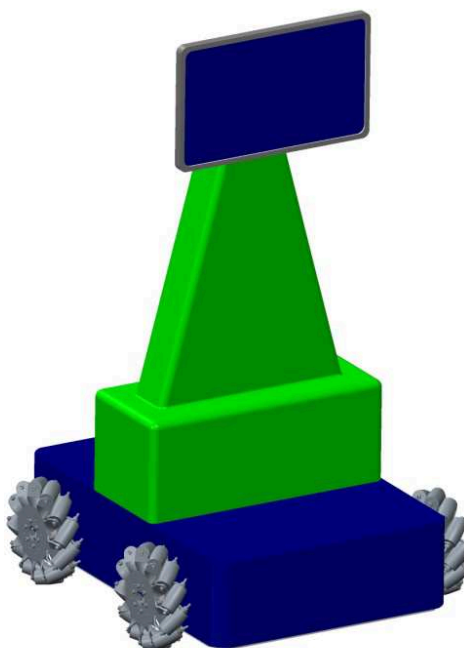
Jako optimální varianta pro horní modul byla zvolena varianta A – se dvěma servomotory pro naklápění obrazovky a rotaci ramena.



Obr. 21 - Optimální varianta horního modulu

4.3. Kriteriační analýza – optimální varianta

Optimální varianta robotu vzešla kombinací optimální varianty podvozku a horního modulu.

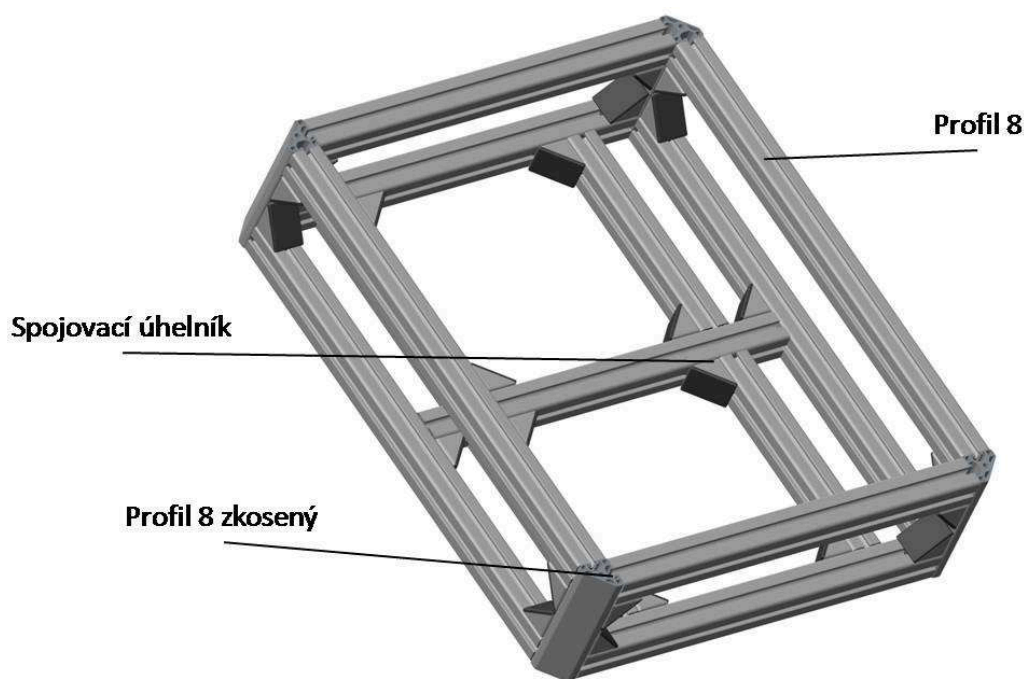


Obr. 22 - Optimální varianta robotu

5. Rozpracování optimální varianty podvozku

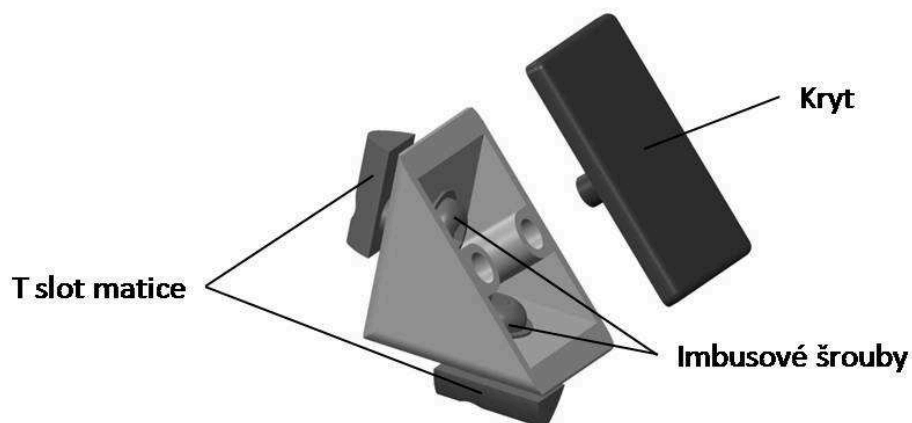
5.1. Konstrukce rámu

Pro konstrukci rámu podvozku byly použity hliníkové profily 8 firmy Item o rozměrech 40 x 40 mm. Tyto profily slouží ke stavbě nejrůznějších jednoúčelových strojů a zařízení. Dodavatel Haberkorn Ulmer s.r.o. nabízí kompletní sortiment výrobce stavebnicového systému. Základem systému jsou přesné eloxované hliníkové profily s podélnými drážkami a otvory pro upevnění spojovacích prvků. Povrchové plochy jsou odolné proti korozi a poškrábání. Koncepce systému umožňuje velkou pružnost, vysokou přesnost i pevnost, ale také rychlou přestavitelnost a možnost opakovaného použití prvků systému. [10]



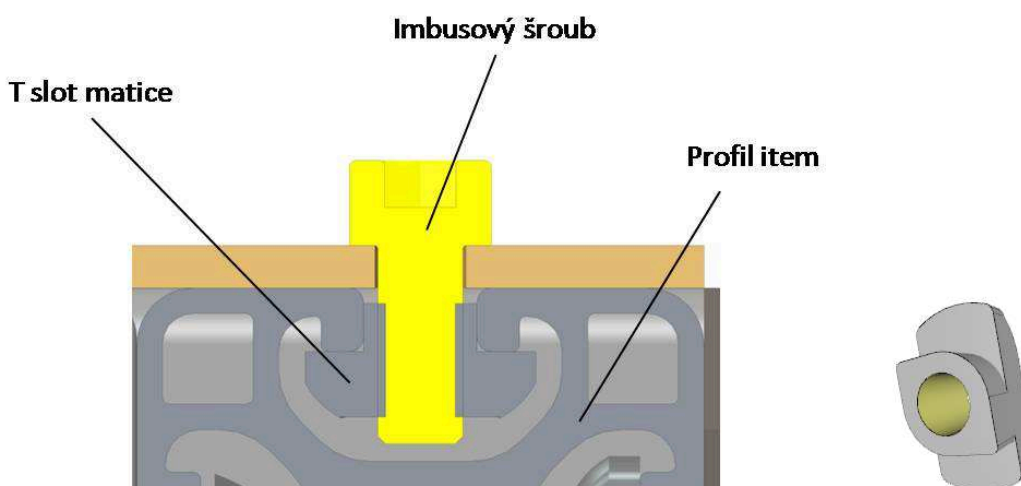
Obr. 23- Rám podvozku

Rám je tvořen profily 8 o průřez 40 x 40 mm. V rozích jsou použity profily se zkosenou hranou. Konstrukce je volena tak, aby k ní šlo vhodně přichytit jednotlivé součásti. Samotné profily jsou spojeny spojovacími úhelníky (obr. 24).



Obr. 24 - Spojovací úhelník

Spojovací úhelník zajišťuje spojení dvou profilů pod úhlem 90°. T slot matice se nasunou do profilů a přitáhnou se imbusovými šrouby.

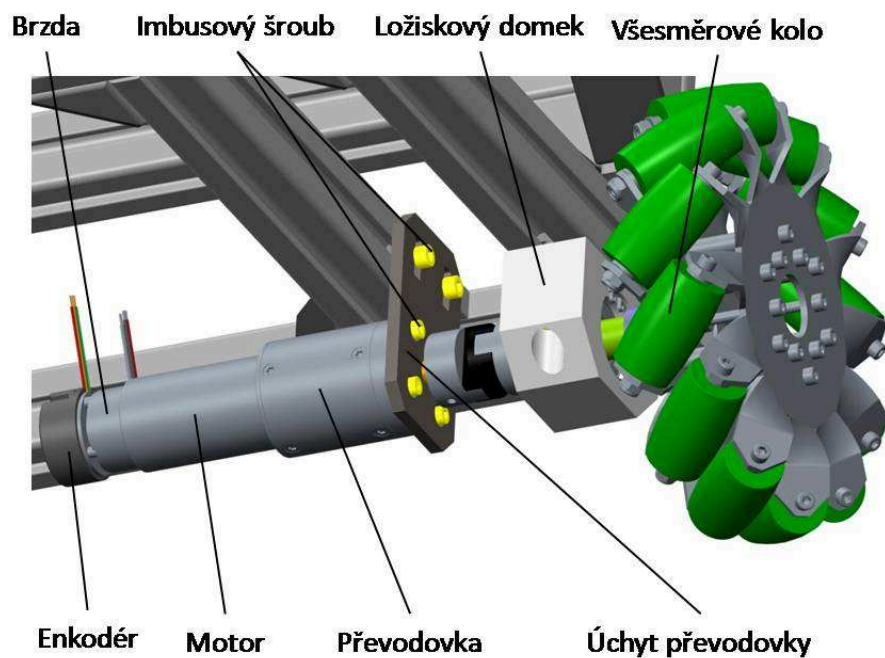


Obr. 25- Uchycení součástí k rámu (vlevo), T slot matice (vpravo) [11]

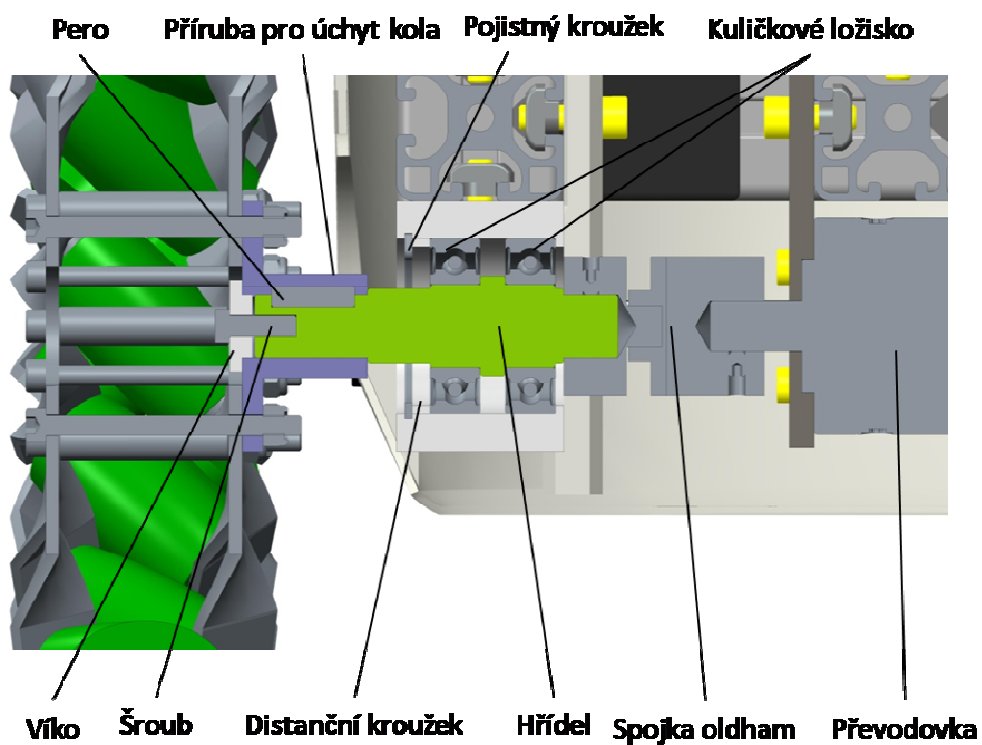
Uchycení součástí přímo k rámu z profilů item se provádí následujícím způsobem. Do drážky profilu se vloží t slot matice, která svým tvarem zabráňuje pootočení a má dosedací plochy. Daná součást se pak zajistí pomocí imbusového šroubu. Veškeré matice a šrouby pro úchyt součástí k rámu jsou zvoleny M6, pouze u ramene rotace horního modulu je využito dvou šroubů a matic M8.

5.2. Uložení pohonů a kol

Na základě výpočtu byly zvoleny motory a vhodné komponenty od firmy Dunkermotoren.



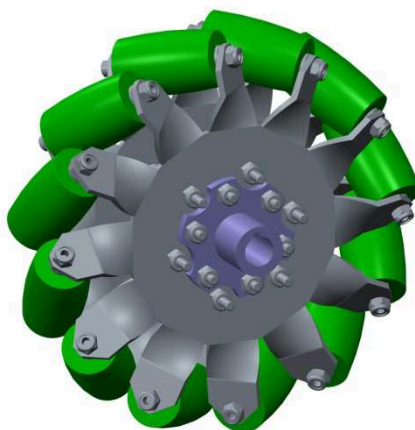
Obr. 26 - Uložení kola a pohonu



Obr. 27 - Řez uložením kola

Motor s převodovkou je uchycen pomocí čtyř šroubů M4 k úchytu, který je přišroubován k rámu. Za motorem se nachází brzda s enkodérem (obr. 26).

Ke spojce oldham je upevněna z jedné strany převodovka a z druhé hřídel, která je uložena v ložiskovém domku pomocí dvou kuličkových ložisek. Ložiska jsou zajištěna distančním kroužkem a pojistným kroužkem. Všesměrové kolo je uchyceno k přírubě (obr. 28), která je nasazena na hřídel, toto spojení zajišťuje pero. Pro zajištění příruby bylo zvoleno víko, které je uchyceno k hřídeli pomocí šroubu (obr. 27).



Obr. 28- Všesměrové kolo s přírubou

Ložiskové domky jsou přišroubovány k rámu podvozku (obr. 29) dvěma šrouby.



Obr. 29 - Uchycení ložiskového domku

5.2.1. Spojka oldham

Spojka Oldham se skládá ze dvou totožných kotoučů s radiální drážkou, umístěnou na čelní ploše, a středního kotouče, jehož oboustranné ozuby jsou pootočený o 90°. Takovéto spojení dvou nesouosých a přitom rovnoběžných hřídelů dovoluje přenést krouticí moment z jedné hřídele na druhou. Během rotačního pohybu dochází v drážkách

k relativnímu posuvu mezi středním kotoučem a krajními kotouči. Tím vzniká tření a ztrátové teplo, proto je nutné spojku mazat. Spojku nelze provozovat na vysoké otáčky, třecí teplo by mohlo spojku zadřít nebo vést k jejímu nadměrnému opotřebení. [12]



Obr. 30 - Spojka Oldham [12]

5.2.2. Všesměrová kola

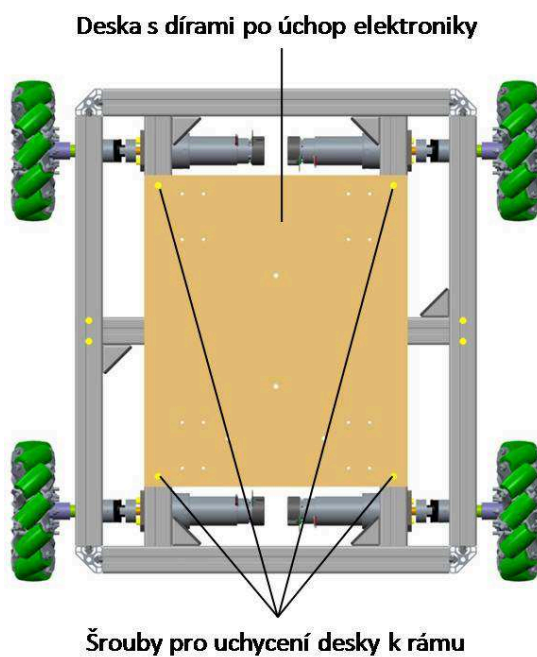
Všesměrová kola dovolují, na rozdíl od běžných kolových podvozků, jak jízdu v přímém směru, tak zatáčení na nulovém poloměru okolo svislé osy procházející těžištěm. Valivé elementy mají soudečkový tvar a jejich osa svírá s osou náboje úhel 45° . Kolo vykazuje na vnějším průměru téměř dokonalou kružnici.

U podvozku byla použita osmipalcová všesměrová kola firmy AndyMakr s nosností 225 kg. [13]



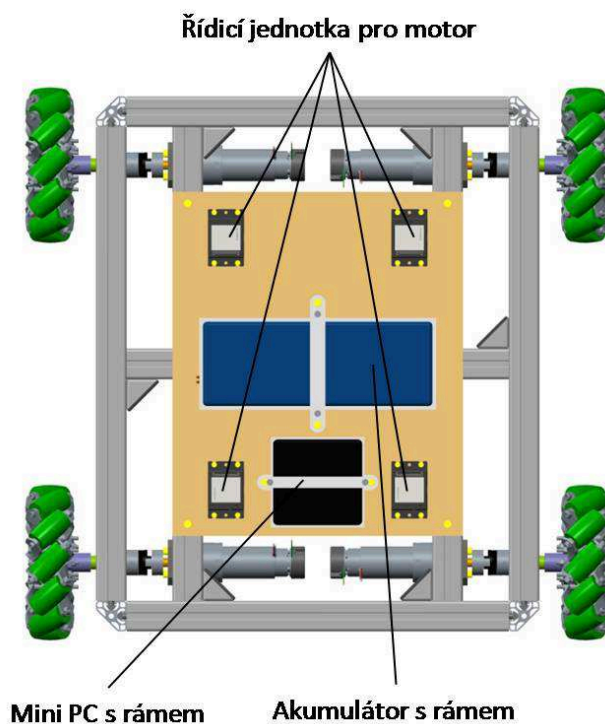
Obr. 31 - Všesměrová kola [13]

5.3. Rozmístění elektroniky



Obr. 32- Deska pro elektrokomponenty

Ve středu podvozku je umístěná plastová deska, která je uchycena čtyřmi šrouby k rámu. V desce jsou vytvořeny otvory pro úchyt veškerých elektrokomponent (obr. 32).



Obr. 33 - Rozmístění elektrokomponent

Na plastové desce jsou umístěny čtyři řídicí jednotky pro pohony. Dále se zde nachází mini PC a akumulátor s rámy. Rámy jsou vytvořeny 3D tiskem, aby nedošlo k vypadnutí, jsou shora zajištěny plastovou destičkou pomocí dvou šroubů. Všechny komponenty jsou uchyceny k desce pomocí šroubu a zajištěny podložkou a maticí.

5.3.1. Mini PC

Jako počítač, který bude umístěn na podvozku, byl zvolen Mini PC: Intel® NUC Kit D54250WYK .[14]



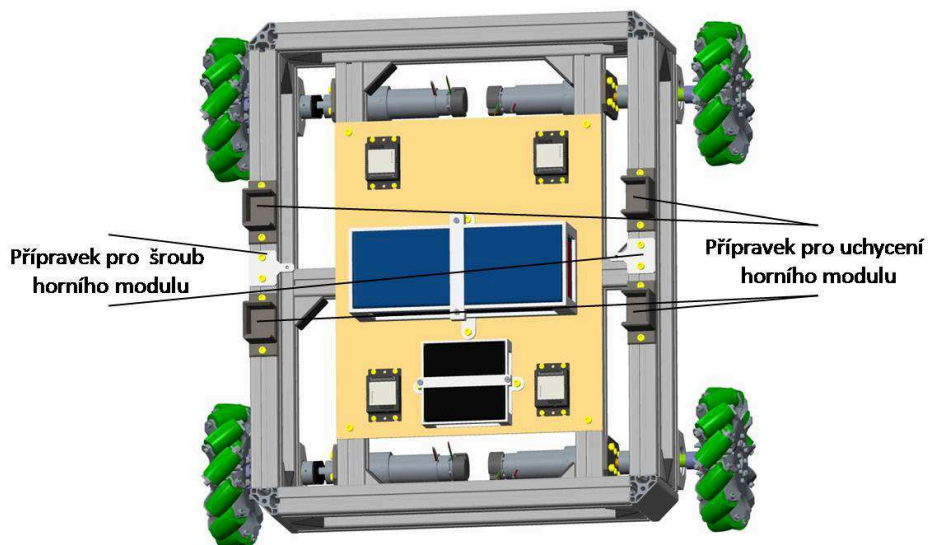
Obr. 34 - Mini PC [14]

Tabulka parametrů:

Napájení	19 V
Procesor	4th generation INTEL Core i5-4250U
LAN	Intel Gigabit ethernet controller
Rozhraní	4x USB 3.0, 2x USB 2.0, 1x SATA port,
Rozměry	116,6mm x 112,0mm x 34,5mm

Tabulka 14 - Parametry mini PC

5.4. Úchyty pro horní modul

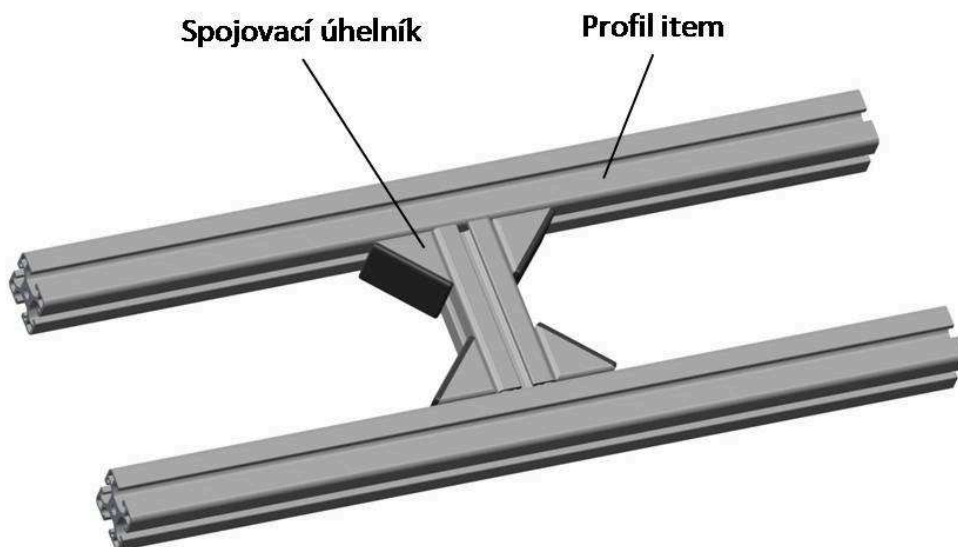


Obr. 35 - Úchyty pro horní modul

Na obr. 35 je možno vidět čtyři přípravky, do kterých se vloží horní modul. Ty zabráňují horní nástavbě jakýkoliv pohyb, kromě vertikálního. K zachycení posledního stupně volnosti slouží další dva přípravky, ke kterým se horní modul uchytí pomocí dvou šroubů.

6. Rozpracování optimální varianty horního modulu

6.1. Konstrukce rámu

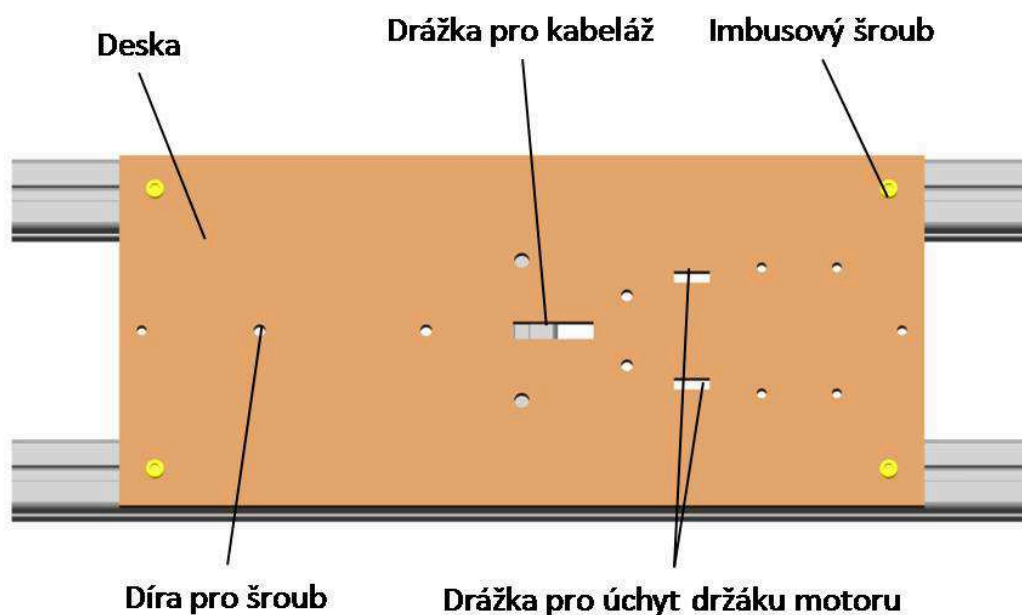


Obr. 36 - Rám horního modulu

Stejně jako rám podvozku je i rám horního modulu tvořen item profily 8. Profily jsou na střední příčce spojeny čtyřmi spojovacími úhelníky, což zajišťuje dostatečnou tuhost rámu.

6.2. Uchycení komponent horního modulu k desce

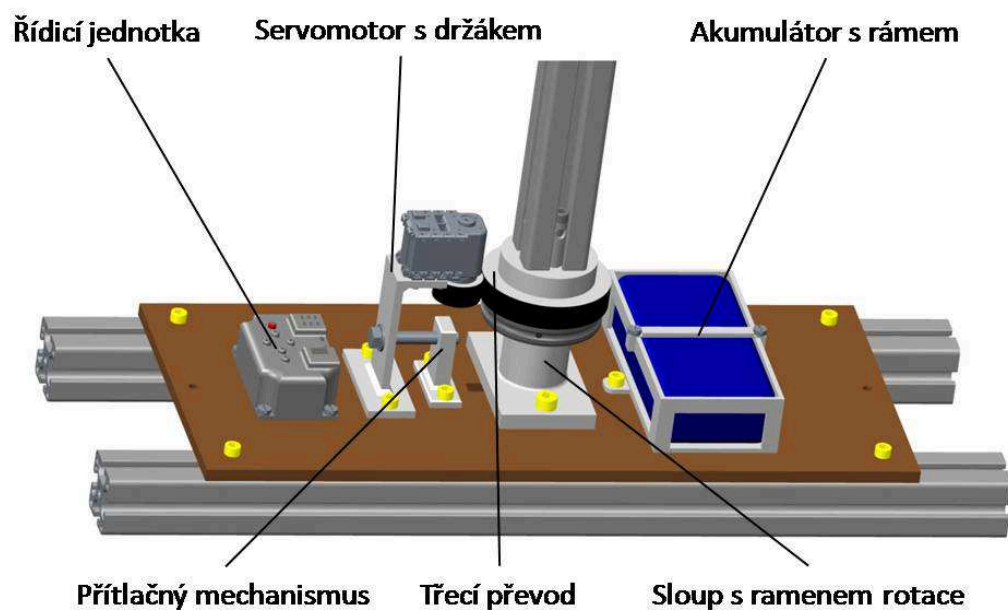
Pro uchycení komponent horního modulu slouží plastová deska, která je uchycena k profilu pomocí t slot matic a imbusových šroubů M6.



Obr. 37 - Deska horního modulu

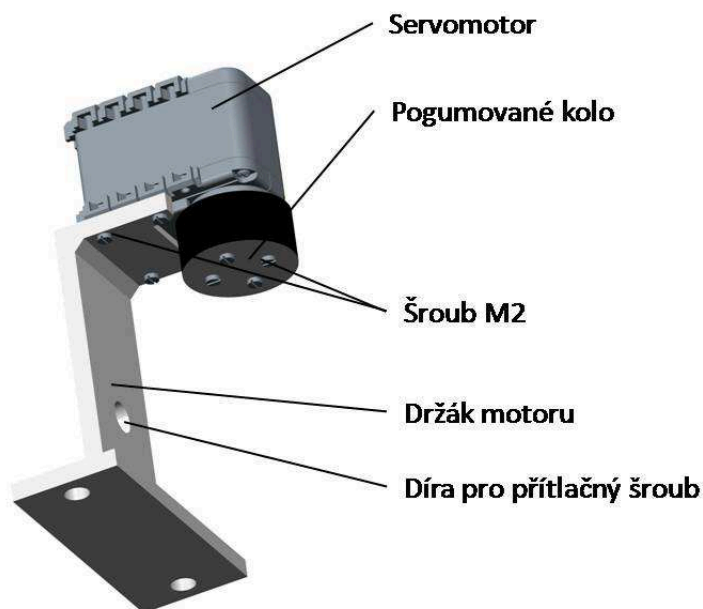
V desce jsou vytvořeny díry k úchytu komponent. Drážky pro úchyt držáku motoru slouží k posuvu motoru. Drážka pro kabeláž (obr. 37) je pro kabel, kterým je spojen pohon pro naklápění tabletu s řídicí jednotkou umístěnou na desce (obr. 38).

Na obr. 38 je zobrazeno umístění jednotlivých komponent. Všechny komponenty jsou k desce přichyceny pomocí šroubů a z druhé strany jsou zajištěny podložkami a maticemi. Pouze sloup s ramenem rotace je přišroubován k rámu horního modulu. Akumulátor je stejně jako u podvozku uložen v rámu vyrobeného 3D tiskem a zajištěn proti vypadnutí destičkou přichycenou dvěma šrouby.



Obr. 38 - Rozmístění komponent horního modulu

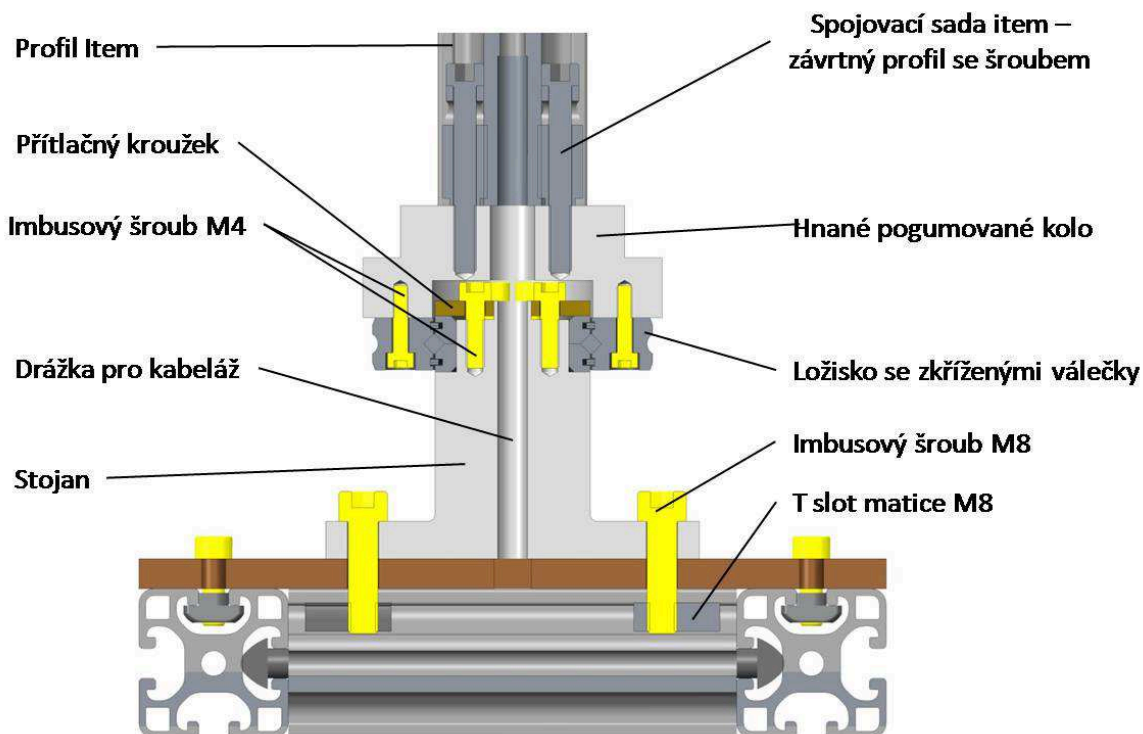
Přenos krouticího momentu je zajištěn třecím převodem. Ten byl zvolen z hlediska bezpečnosti, pokud by došlo k zaseknutí nebo by se pokoušel s rámem tabletu někdo točit, dojde k prokluzu. Vhodný přítlak jde nastavit šroubem přítlačného mechanismu, pak se držák servomotoru zajistí dvěma imbusovými šrouby.



Obr. 39 - Uchycení servomotoru

Servomotor je uchycen k držáku čtyřmi šrouby M2. Stejným počtem šroubů M2 je přišroubované pogumované kolo k hřídeli servomotoru.

Pogumování kol je možno zajistit ve firmě AGT Zlín. Gumárenské výrobky od této společnosti se vyznačují vysokou pevností, elasticitou, dlouhou životností a odolností proti otěru. [15]



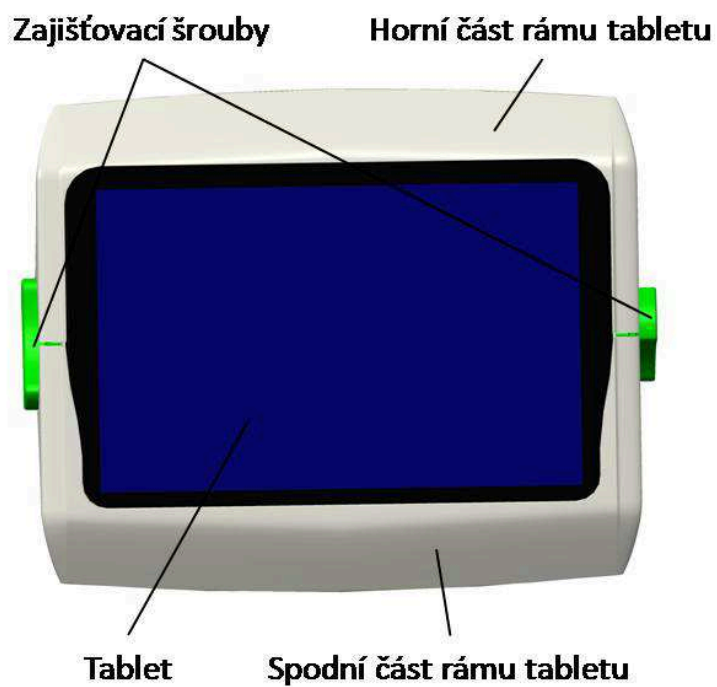
Obr. 40 - Řez ramenem rotace

Stojan je uchycen k příčnému profilu rámu dvěma šrouby s t slot maticemi M8. Uvnitř je provrtaný, aby šlo středem ramene rotace vést kabel k hornímu servomotoru. Na stojanu je umístěno ložisko se zkříženými válečky, které zachytává klopné momenty, axiální a radiální síly. Na vnitřní kroužek ložiska je nasazen přítlačný kroužek, který je ke stojanu přišroubován šesti šrouby M4. Vnější kroužek ložiska je přišroubován k pogumovanému kolu dvanácti imbusovými šrouby M4.

Ke spojení profilu s pogumovaným kolem je využito spojovací sady firmy Item. Do drážky se vloží šroub, následně se do ní zavrtá profil se samořezným závitem. Šrouby v takto připraveném profilu se zašroubují do závitů vytvořených v pogumovaném kole.

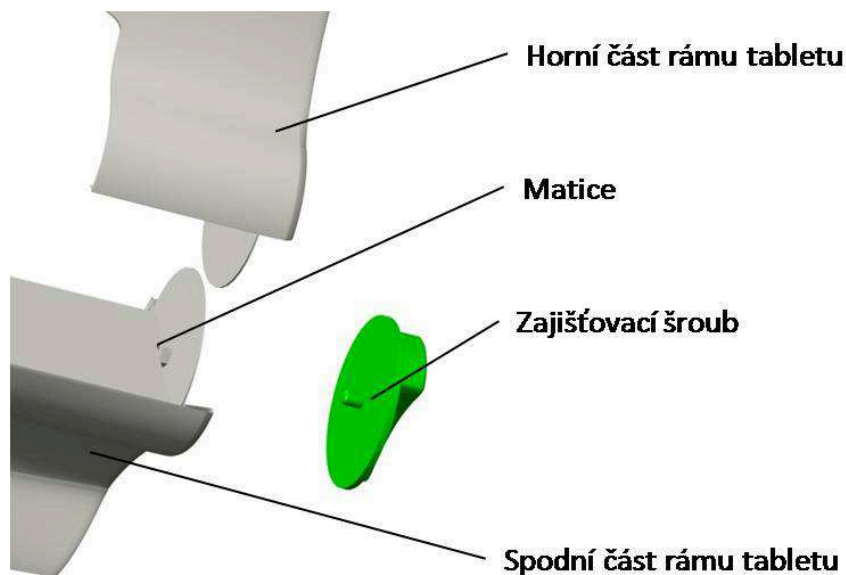
6.3. Rám tabletu

Pro uložení tabletu byl zkonstruován rám, do kterého se tablet vloží. Skládá se ze dvou krytů, horní a spodní části. Na bocích krytu jsou umístěny šrouby k zajištění.

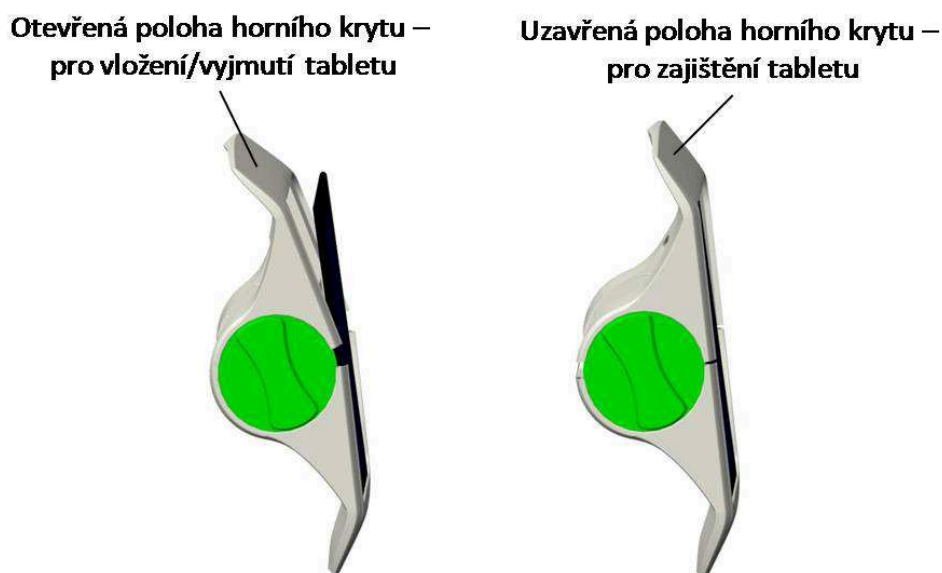


Obr. 41 - Rám tabletu

Na obr. 42, je možno vidět, jak se rám skládá. Horní část se vloží do spodní části rámu, ve které je uchycena matice. Následně se kryty vůči sobě zajistí šroubem.



Obr. 42 - Montáž rámečku



Obr. 43 - Funkce rámu tabletu

Na obr. 43 je znázorněná funkce rámu tabletu. Pokud chceme tablet vložit nebo vytáhnout, povolí se zajišťovací šrouby a odklopí se horní část rámu. Naopak pro zajištění tabletu se horní část rámu pootočí do vodorovné polohy s dolní částí a zajistí se šrouby.

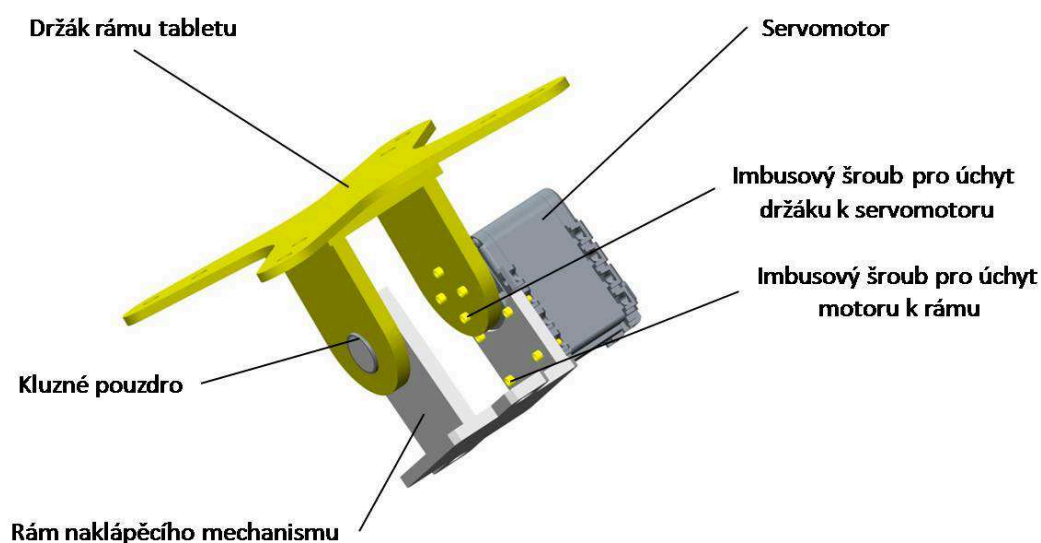
6.3.1. Tablet

Jako obrazovka byl zvolen 13,3" tablet HANNSPREE HannsPad v konfiguraci s Full HD displejem 13,3" o rozlišení 1920×1080 px, čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex-A9 o frekvenci 1,60 GHz, 2 GB operační paměti RAM, 16 GB interní paměti, 5Mpx fotoaparát/2Mpx webkamerou. [16]



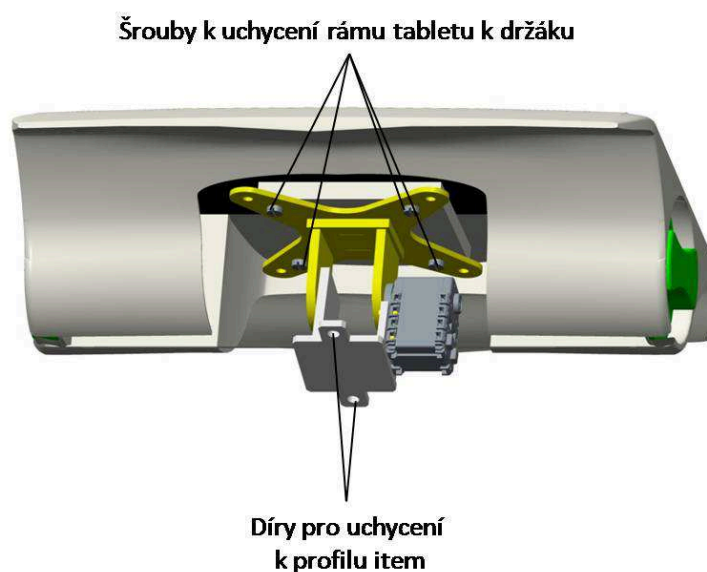
Obr. 44 – Tablet [16]

6.4. Naklápění tabletu



Obr. 45 - Naklápění tabletu

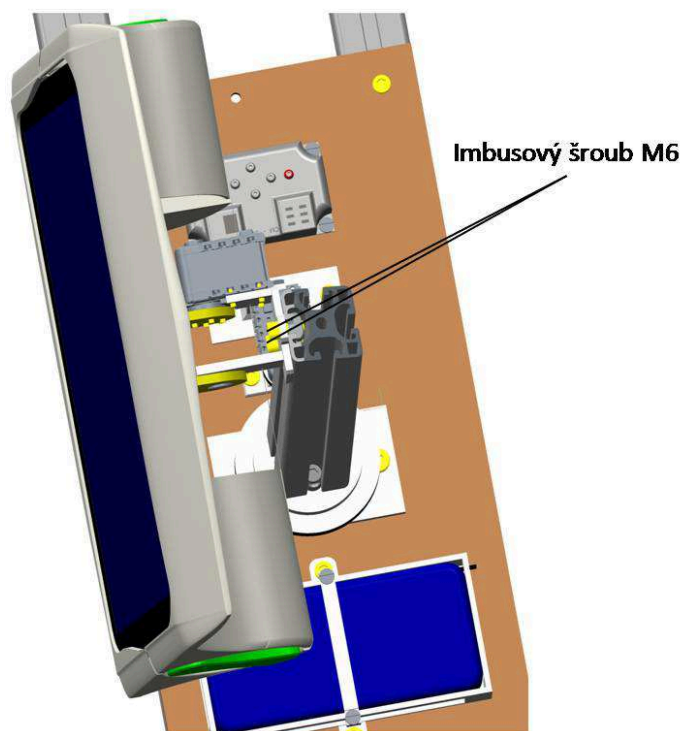
K rámu naklápěcího mechanismu je uchycen servomotor pomocí čtyř imbusových šroubů M2. Držák rámu tabletu je nasazen na kluzné pouzdro na rám naklápěcího mechanismu. Z druhé strany je držák uchycen k servomotoru čtyřmi imbusovými šrouby M2. Toto spojení zajišťuje, že držák z kluzného pouzdra nevypadne. Hlavní síla působí na tvarový styk mezi držákem tabletu a kluzným pouzdrem. Radiální síla působící na hřídel servomotoru je tedy minimální (obr. 45). Z důvodu bezpečnosti je programově ošetřen servomotor, který při vyšším zatížení než 1,7 Nm povolí. Pokud se někdo dostane k rámu a vyvine pro natočení monitoru větší sílu než je zadána, nedojde k jeho poškození.



Obr. 46 - Uchycení rámu tabletu k držáku

V připojovací ploše rámu tabletu jsou vytvořeny čtyři díry se závity. Rám se nasadí na držák a přišroubuje šrouby M5 (obr. 46).

Pro uchycení rámu natáčecího mechanismu k rameni rotace jsou vytvořeny dvě díry. Připojení k profilu item je provedeno klasicky pomocí dvou imbusových šroubu s t slot maticemi (obr. 47).



Obr. 47 - Uchycení natáčecího mechanismu k profilu

6.4.1. Kluzné pouzdro

Pro uložení držáku tabletu je zvoleno kluzné pouzdro s kompozitem firmy SKF typu PCMF 121407 E. [17]

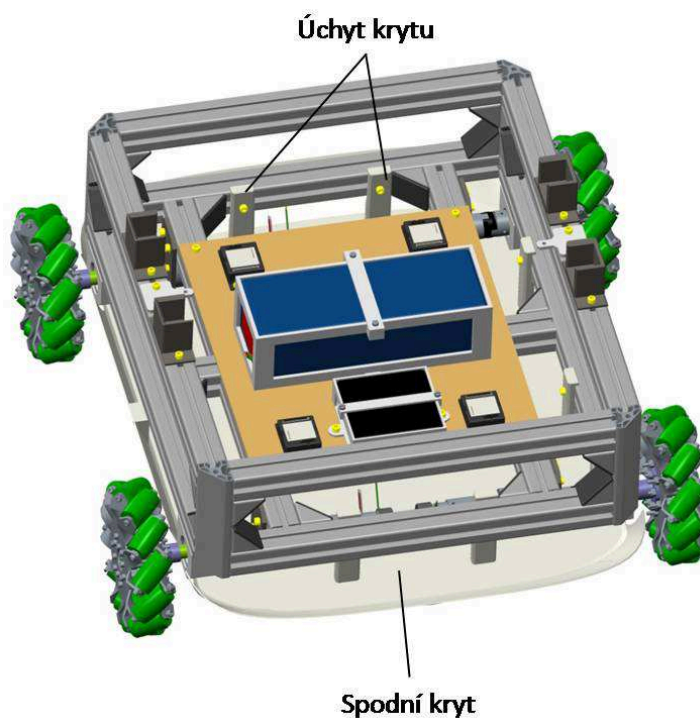


Obr. 48 - Kluzné pouzdro

7. Krytování

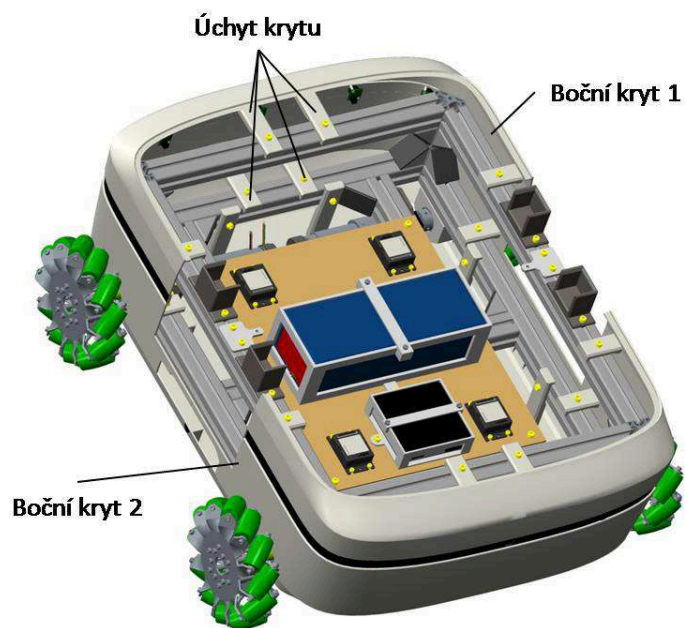
Jelikož je design pro robot prezentující Katedru robotiky na středních školách velmi důležitý, poprosil jsem o pomoc mého kolegu, který studuje průmyslový design ve strojírenství, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně. K vytvoření návrhu bylo nutné pár schůzek, kde jsme řešili cílovou skupinu lidí, funkčnost krytu a úchyty k rámu. Po zmiňovaných konzultacích kolega vytvořil kryty v programu Rhino ceros 3D, které jsem drobně upravil, tak aby byly splněny veškeré požadované funkce. Naše představy se sešly u následujícího návrhu. Všechny kryty jsou plastové, vyrobené vstřikováním. Tímto bych chtěl Bc. Vojtěchu Janeczkovi poděkovat za spolupráci.

7.1. Krytování podvozku



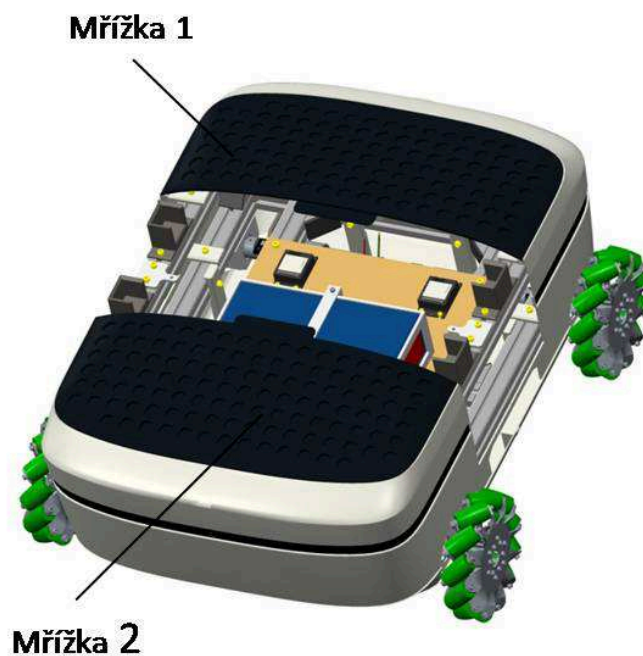
Obr. 49 - Spodní kryt

Spodní kryt je jednodílný a na každé straně má dvě úchopové části, které se přišroubují k rámu podvozku. Je navržen tak, aby minimální světlá výška podvozku byla 50 mm. Vymezení krytu do střední polohy je zajištěno úchyty krytu, které přesně dosedají na profily.



Obr. 50 - Boční kryt

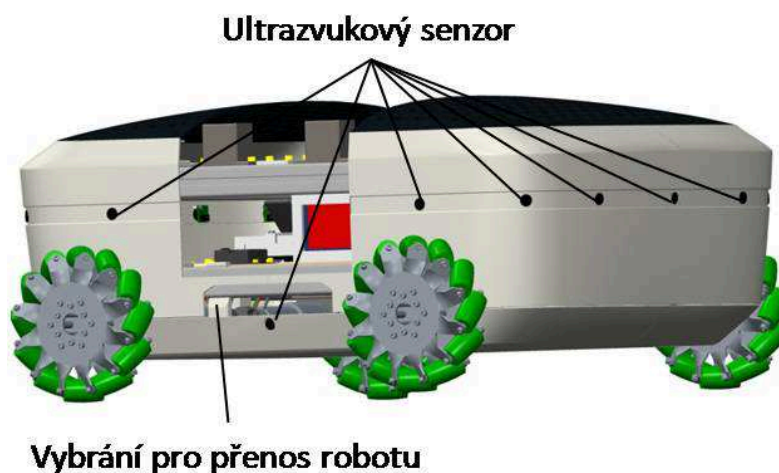
Krytování boční části je zajištěno pomocí dvou krytů. Pro větší stabilitu bylo zvoleno uchycení k rámu pomoci osmi úchytů, čtyři na horní část profilu podvozku a čtyři na dolní. Kryty jsou uchyceny k rámu stejným způsobem jako všechny ostatní součásti, tedy pomocí slot matice a imbusového šroubu M6.



Obr. 51- Horní kryt podvozku – mřížka

Jako kryty horní části podvozku jsou zvoleny dvě mřížky z lesklého plastu. V krytu nejsou díry, je plný, jedná se pouze o prolisy. Mřížky jsou usazené do lemu bočního krytu a uprostřed zacvaknuty do drážky. Pokud by došlo k výrobě, bylo by dobré použít těsnící gumu, aby nedošlo k případnému průniku vody k elektronice.

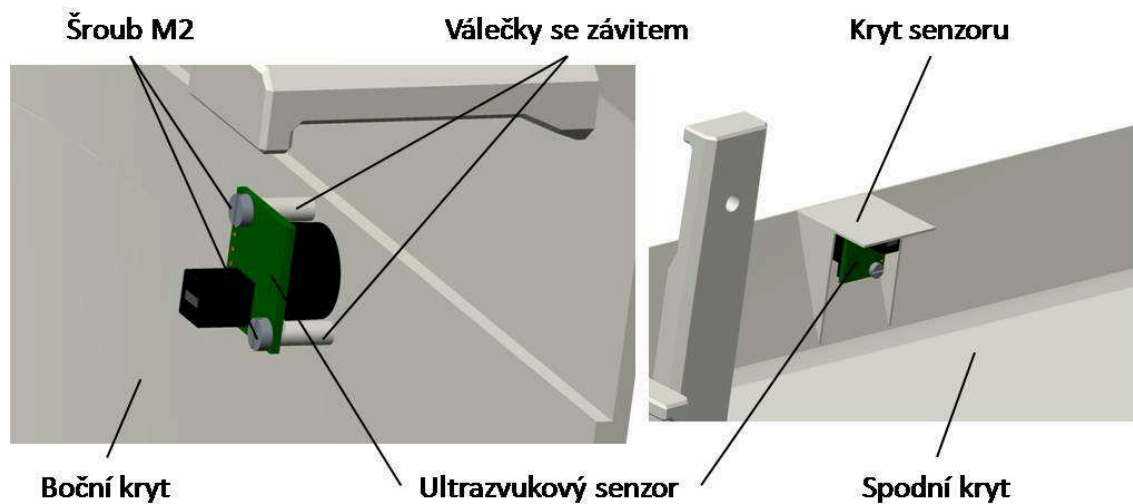
Z důvodu bezpečnosti jsou kryty na podvozku opatřeny ultrazvukovými senzory. Ty jsou rozmístěné po celém obvodu. Pokud se někdo přiblíží k podvozku na 10 cm, bude programově ošetřeno, aby podvozek automaticky zastavil a nemohlo tak dojít k úrazu člověka nebo najetí do překážky. Rozmístění senzorů je možno vidět na obr. 52, z důvodu viditelnosti senzorů byl odstraněn render. Aby senzory nebyly viditelné je lem začerněm viz obr. 50. Celkem je na podvozku umístěno 16 senzorů z toho 14 na bočním krytu a 2 na krytu spodním.



Obr. 52 - Rozmístění senzorů a úchyt pro přenos robotu

Ultrazvukový senzor je ke krytu přišroubován, poloha je vymezena válečky se závitem, ke kterým je senzor pomocí dvou šroubů uchycen. Na obr. 53 vpravo je možno vidět, jak je senzor v krytu chráněn.

Na obr. 52 je zobrazeno vybrání v krytu, které souží k přenosu podvozku. Podvozek je možno chytit přímo za rám. Otvory jsou umístěny v ose těžiště. Robot tedy půjde bezproblémově přenést na požadované místo.



Obr. 53 - Uchycení ultrazvukových senzorů ke krytu

7.1.1. Ultrazvukový senzor

Byl zvolen ultrazvukový senzor - MB1202I2CXL-MaxSonar-EZ0. [18]



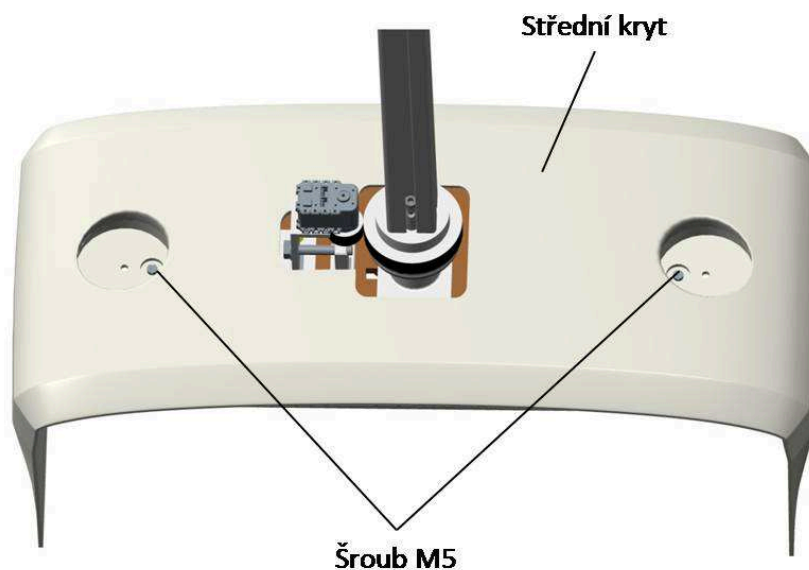
Obr. 54 - Ultrazvukový senzor [18]

Parametry senzoru:

Napětí	3-5,5 V
Proud	4,4 mA
Rozsah	0 – 7,45 m
Rozhraní	I2C

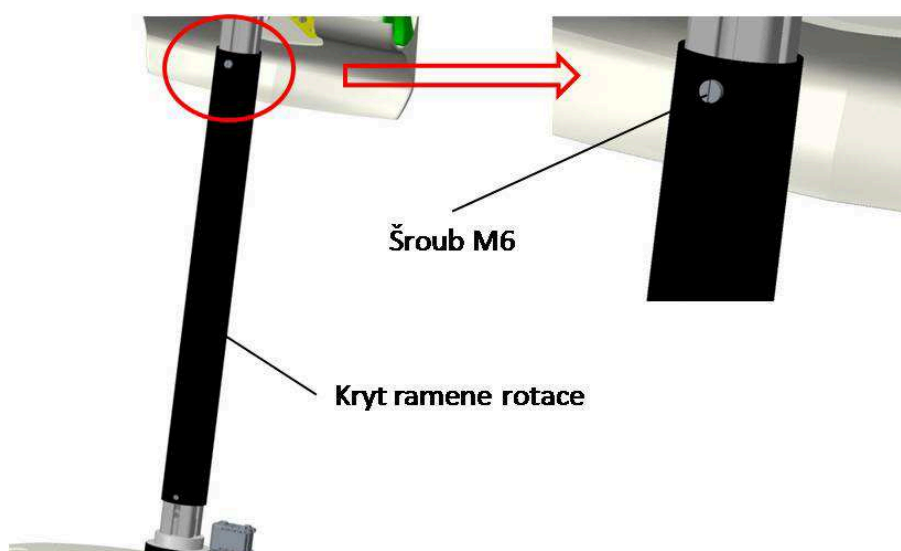
Tabulka 15 - parametry ultrazvukového senzoru

7.2. Krytování horního modulu



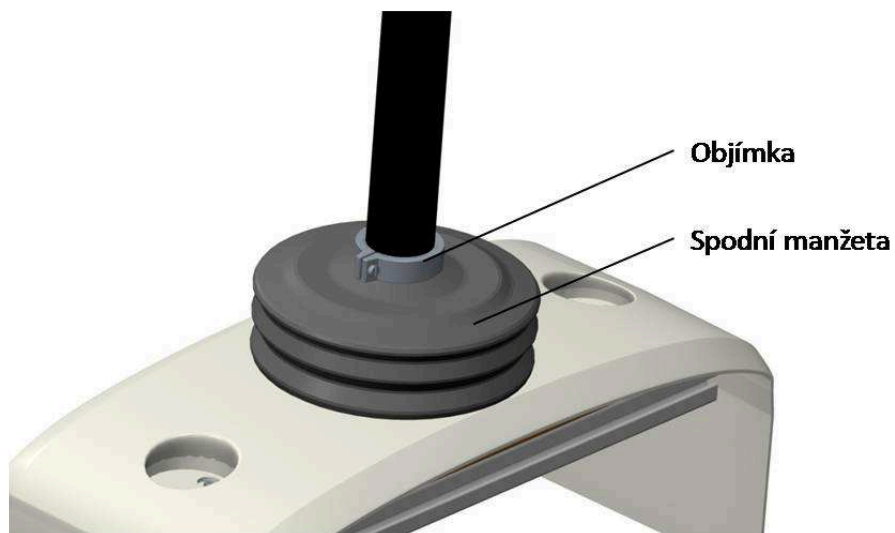
Obr. 55 - Střední kryt

Střední kryt se skládá z jednoho kusu plastu, dosedá na plastovou desku horního modulu a je k ní uchycen dvěma šrouby M5. Tímto se kryt umístí přesně do středu. Uprostřed krytu je vybrání pro rameno rotace a servomotor. Při případné výrobě by musela být opět umístěná těsnící guma po obvodu krytu.



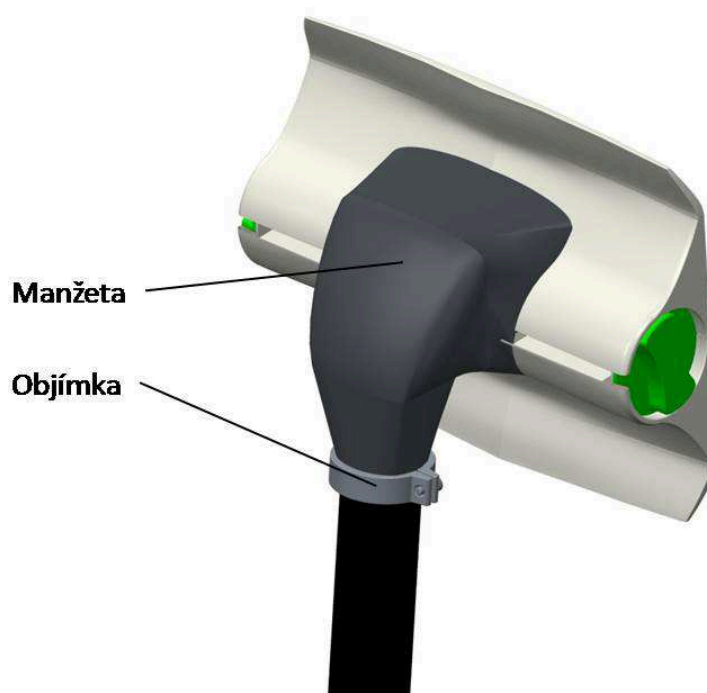
Obr. 56 - Kryt ramene rotace

Kryt ramene rotace tvoří plastová trubka, která je uchycena k profilu šroubem M6. Vhodné umístění tyče se volí podle manžet umístěných v dolní a horní části (obr. 57 a 58).



Obr. 57 - Spodní manžeta

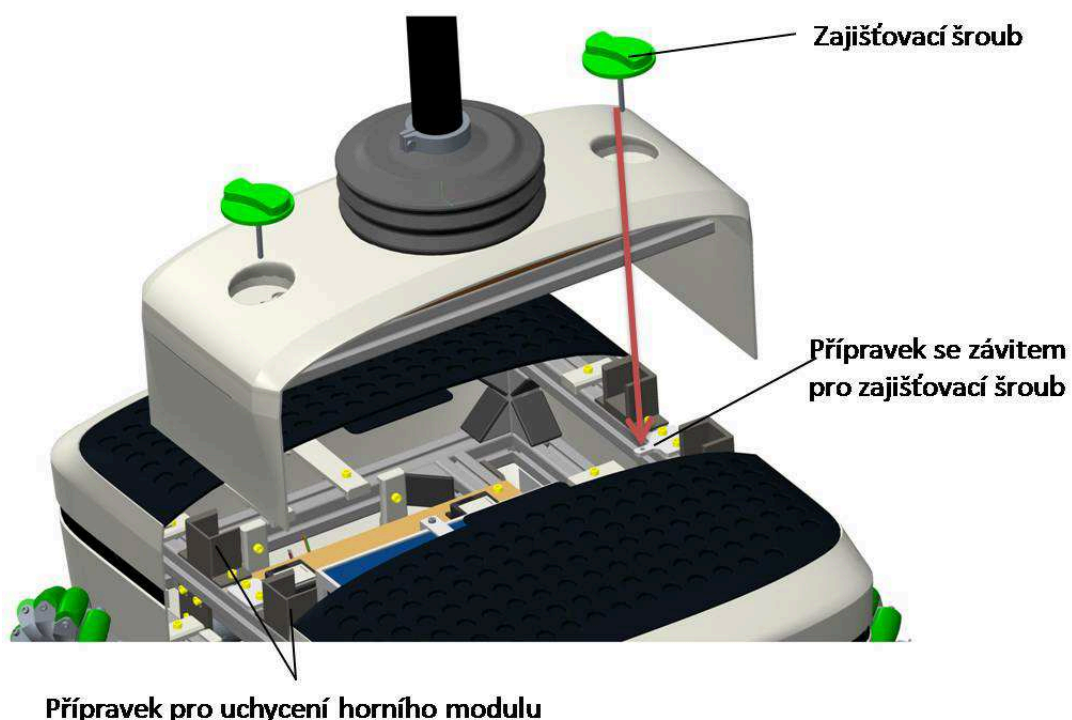
Spodní manžeta dosedá na střední kryt, ke krytu ramene rotace je přichycena objímkou. Manžeta se bude otáčet spolu s ramenem rotace.



Obr. 58 - Horní manžeta

Horní manžeta je podobně jako ta spodní uchycená objímkou. K rámu tabletu je manžeta přilepená. Obě manžety by byly vyrobeny firmou Teguza, která vyrábí pryžové komponenty na zakázku. [19]

8. Spojení podvozku s horním modulem



Obr. 59 - Připojení horního modulu k podvozku

Jelikož se robot kvůli transportu bude často skládat a rozdělovat na dvě části, byl vymyšlen následující způsob připojení. Nejprve se musí propojit řídicí jednotka horního modulu s mini PC na podvozku pomocí USB kabelu. Pro zjednodušení by bylo vhodné USB vývod od mini PC přivést k hornímu profilu podvozku, aby nemuselo docházet k manipulaci pod krytem. Následně se vloží rám horního modulu do přípravku k uchycení, kde se zabrání pohybu ve vodorovné rovině. Nakonec se pomocí dvou šroubů zachytí i možný vertikální pohyb horního modulu.

Složený robot je možno vidět na obr. 60, 61 a 62. Na obr. 63 je znázorněno umístění loga Katedry robotiky.

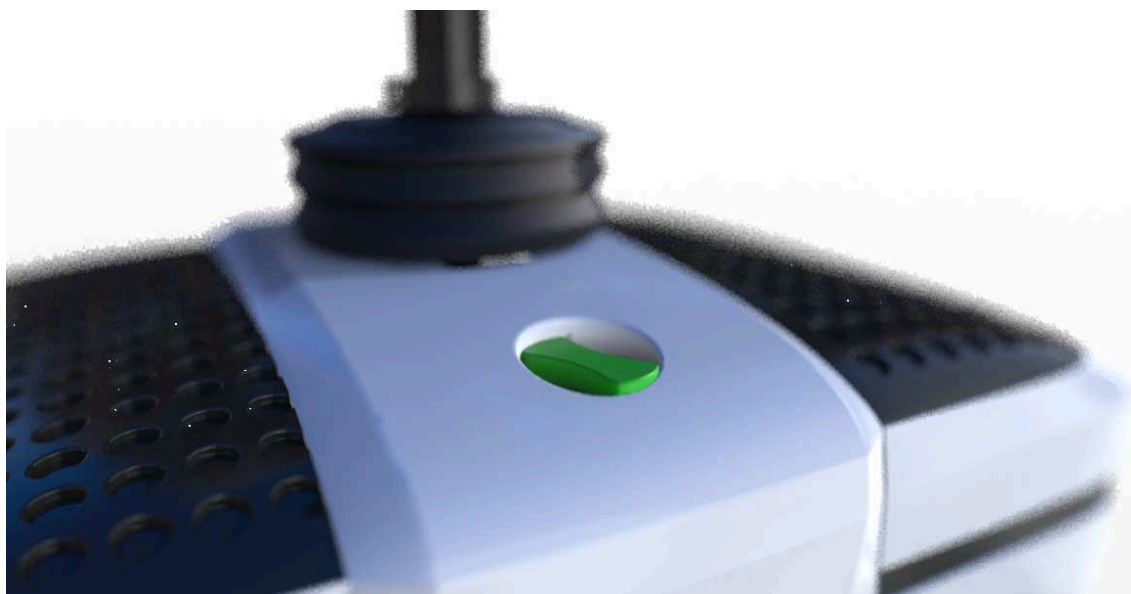
Pokud by projekt měl být realizován pro jinou katedru případně firmu, může se využít jiných barevných kombinací krytování.



Obr. 60 - Kompletní robot - pohled zepředu



Obr. 61 - Kompletní robot - pohled zezadu



Obr. 62 - Detail zajišťovacího šroubu



Obr. 63 - Kompletní robot - detail na logo katedry

9. Výpočet a volba pohonů robotu

V následující kapitole jsou provedeny výpočty pohonů pro podvozek a horní modul. Dále jsou zvoleny motory s vhodnými komponenty pro řízení.

9.1. Výpočet pohonů podvozku

Při návrhu pohonu bylo vycházeno z teorie návrhu pro automobil. Tato teorie vychází z jízdních odporů, tedy sil, které působí proti pohybu vozidla. Uvažuje se odpor valivý, odpor stoupání, odpor zrychlení, tyto odpory musí překonat hnací síla pohonu.

Valivý odpor – vzniká deformací kola a povrchu. Vypočte se dle vztahu:

$$O_f = G * \cos(\alpha) * f_K = m * g * \cos(\alpha) * f_K \quad [N] \quad (1)$$

Součinitel tření závisí na povrchu podložky, viz tabulka 16.

Povrch	$f_k [-]$	Povrch	$f_k [-]$
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,08 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

Tabulka 16 - Součinitel tření [20]

Odpor stoupání – je dán složkou síly tíhy vozidla rovnoběžnou s podložkou, po které se vozidlo pohybuje. Vypočte se ze vztahu:

$$O_s = G * \sin(\alpha) = m * g * \sin(\alpha) \quad [N] \quad (2)$$

Odpor zrychlením – projevuje se, když je provedena změna z rovnoměrného pohybu na pohyb rovnoměrně zrychlený či zpomalený. Pro zjednodušení je možno při výpočtu použít takzvaný součinitel vlivu rotačních částí ϑ (1,0 – 1,5). Platí vztah:

$$O_z = \vartheta * m * a \quad [N] \quad (3)$$

Hnací síla – jak již bylo zmíněno, tato síla musí překonat součet všech odporů působících na vozidlo.

$$F_h = O_f + O_s + O_z \quad [N] \quad (4)$$

Hnací síla pro jedno kolo je dána vztahem:

$$F_{h1} = \frac{F_h}{4} \quad [N] \quad (5)$$

Výkon pro jedno kolo je dán vztahem:

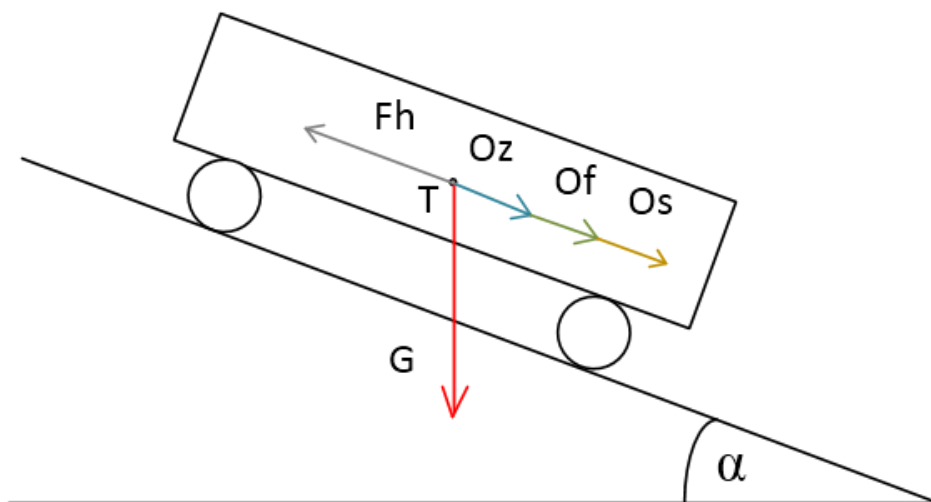
$$P_{h1} = F_{h1} * v \quad [W] \quad (6)$$

Krouticí moment na jednom kole je určen ze vztahu:

$$M_{h1} = F_{h1} * r_k \quad [Nm] \quad (7)$$

Otáčky kola jsou vyjádřeny vztahem:

$$n_k = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_k} \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (8)$$



Obr. 64- Schéma působení odporů na podvozek

Výpočet je proveden pro čtyři různé režimy jízdy:

- A. Rozjezd po rovině
- B. Rovnoměrný pohyb po rovině
- C. Rozjezd po nakloněné rovině
- D. Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

A. Rozjezd po rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
m_r	65	kg
g	9,81	m/s^{-2}
α	0	°
f_k	0,02	-
ϑ	1,5	-
v	0,5	m/s^{-1}
a	0,5	m/s^{-2}
r_k	0,11	m

Tabulka 17 - Hodnoty pro rozjezd po rovině

Po dosazení do vztahů (1) až (8) byly vypočteny následující hodnoty:

Značení	Hodnota	Jednotka
O_f	12,75	N
O_s	0	N
O_z	48,75	N
F_h	61,50	N
F_{h1}	15,37	N
P_{h1}	7,68	W
M_{h1}	1,69	Nm
n	43,40	min ⁻¹

Tabulka 18 - Vypočtené hodnoty pro rozjezd po rovině

B. Rovnoměrný pohyb po rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
m_r	65	kg
g	9,81	m/s ⁻²
α	0	°
f_k	0,02	-
ϑ	1,5	-
v	0,5	m/s ⁻¹
a	0	m/s ⁻²
r_k	0,11	m

Tabulka 19 - Rovnoměrný pohyb po rovině

Po dosazení do vztahů (1) až (8) byly vypočteny následující hodnoty:

Značení	Hodnota	Jednotka
O_f	12,75	N
O_s	0	N
O_z	0	N
F_h	12,75	N
F_{h1}	3,18	N
P_{h1}	1,59	W
M_{h1}	0,35	Nm
n	43,40	min ⁻¹

Tabulka 20 - Vypočtené hodnoty pro rovnoměrný pohyb po rovině

C. Rozjezd po nakloněné rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
m_r	65	kg
g	9,81	m/s^{-2}
α	8	$^{\circ}$
f_K	0,02	-
ϑ	1,5	-
v	0,5	m/s^{-1}
a	0,2	m/s^{-2}
r_k	0,11	m

Tabulka 21 - Hodnoty pro rozjezd po nakloněné rovině

Po dosazení do vztahů (1) až (8) byly vypočteny následující hodnoty:

Značení	Hodnota	Jednotka
O_f	12,62	N
O_s	88,74	N
O_z	19,5	N
F_h	119,2	N
F_{h1}	29,8	N
P_{h1}	14,9	W
M_{h1}	3,32	Nm
n	43,40	min^{-1}

Tabulka 22 - Vypočtené hodnoty pro rozjezd po nakloněné rovině

D. Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
m_r	65	kg
g	9,81	m/s^{-2}
α	8	$^{\circ}$
f_K	0,02	-
ϑ	1,5	-
v	0,5	m/s^{-1}
a	0	m/s^{-2}
r_k	0,11	m

Tabulka 23 - Hodnoty pro rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

Po dosazení do vztahů (1) až (8) byly vypočteny následující hodnoty:

Značení	Hodnota	Jednotka
O_f	12,63	N
O_s	88,74	N
O_z	0,00	N
F_h	101,37	N
F_{h1}	25,34	N
P_{h1}	12,67	W
M_{h1}	2,79	Nm
n	43,41	min ⁻¹

Tabulka 24 - Vypočtené hodnoty pro rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

Souhrn parametrů:

Situace	Hnací síla [N]	Výkon pohonu [W]	Krouticí moment [Nm]	Otáčky [min ⁻¹]
	F_{h1}	P_{h1}	M_{h1}	n
A. Rozjezd po rovině	15,38	7,69	1,69	43,41
B. Rovnoměrný pohyb po rovině	3,19	1,59	0,35	43,41
C. Rozjezd na nakloněné rovině	29,8	14,9	3,32	43,41
D. Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině	25,34	12,67	2,79	43,41

Tabulka 25- Souhrn parametrů pohonu

Ve výše uvedené tabulce je zpracován souhrn parametrů z jednotlivých jízdních režimů. Tyto hodnoty jsou porovnány. Hodnoty vyznačeny červeně, slouží jako vstupní parametry pro volbu pohonu.

9.1.1. Volba pohonu podvozku

Pro pohon podvozku byly zvoleny motory firmy DunkerMotoren v kombinaci s planetovými převodovkami, enkodéry a brzdami. Všechny komponenty pro motor jsou vhodně zvoleny díky snadnému postupu volby na stránkách výrobce. [21]

Motor GR 42x25



Obr. 65 - Motor GR 42x25 [21]

Napětí DC	24 V
Výkon	15 W
Krouticí moment	3,8 Ncm
Otáčky	3600 min ⁻¹

Tabulka 26 - Parametry motoru

Planetová převodovka PLG 52



Obr. 66 - Planetová převodovka PLG 52 [21]

Počet stupňů	3
Převodový poměr	91,12:1
Maximální axiální/radiální síla	500/350 N
Hmotnost	0,88 kg

Tabulka 27 - Parametry převodovky

Brzda E 38 R



Obr. 67 - Brzda E 38 R [21]

Napětí	24 V
Brzdňý moment	20 Ncm
Hmotnost	0,12 kg

Tabulka 28 - Parametry brzdy

Enkodér ME 52



Obr. 68 - Enkodér ME 52 [21]

Napětí	24V
Operační teplota	-40...+85°C

Tabulka 29 - Parametry enkodéru

Řídící jednotka BGE 3508



Obr. 69- Řídící jednotka BGE 3508 [21]

Napětí	24 V
Rozhraní	CAN
IP	20
Hmotnost	0,05 kg

Tabulka 30 - Parametry řídicí jednotky

9.2. Výpočet pohonů horního modulu

Pro horní modul jsou použity dva pohony pro dvě různé operace.

9.2.1. Pohon pro nakládění tabletu

Pohon pro nakládění se vypočte jako součin tíhové síly působící v těžišti sestavy rámu s tabletem a držáku, na rameni - tedy na délce od osy rotace k těžišti dané sestavy.

Moment potřebný pro pohon:

$$M_{tab} = G * l_{tab} \quad (9)$$

Tíhová síla:

$$G = m_{tab} * g \quad (10)$$

Hmotnost sestavy a její vzdálenost od osy rotace k těžišti byla odečtena v programu Creo Parametric 2.0.

Veličina	Hodnota
m_{tab}	1,5 kg
l_{tab}	0,046 m
g	9,81 s*m ⁻²

Tabulka 31 - Parametry pro výpočet pohonu nakládění

Po dosazení do vzorce (9) a (10) je možno spočítat moment.

$$G = 1,5 * 9,81 = 14,72N$$

$$M_{tab} = 14,72 * 0,046 = \mathbf{0,68 Nm}$$

9.2.2. Pohon pro natáčení ramene

Jelikož jsou veškeré síly zachyceny ložiskem se zkříženými válečky, motor musí pouze ubrzdít setrvačnost rotujících částí. Platí:

Moment potřebný pro pohon:

$$M_{rr} = J_{rr} * \varepsilon \quad (11)$$

Úhlové zrychlení se vypočítá ze vztahu:

$$\varepsilon = \frac{a}{l_{rr}} \quad (12)$$

Moment setrvačnosti a vzdálenost těžiště (sestavy ramena rotace a mechanismu naklápění) od osy rotace byly odečteny z programu Creo Parametric 2.0.

Veličina	Hodnota
J_{rr}	0,339 kg*m ²
l_{rr}	0,045 m
a_{rr}	0,2 s*m ⁻²

Tabulka 32 - Parametry pro výpočet pohonu pro natáčení

Po dosazení do vzorce (11) a (12) je možno spočítat moment.

$$\varepsilon = \frac{0,2}{0,045} = 4,45 \text{ rad} * s^{-2}$$

$$M_{rr} = 0,339 * 4,45 = \mathbf{1,5 \text{ Nm}}$$

9.2.3. Volba pohonů horního modulu

Jak pro naklápění tabletu, tak i pro pohon ramene rotace byl zvolen servomotor firmy Dynamixel typu AX-18A.



Obr. 70 - Servomotoru Dynamixel AX-18A [22]

Napájení	12 V
Startovací proud	2,2 A
Běžná spotřeba proudu	0,9 A
Krouticí moment	1,8 Nm
Rozměry	32 mm x 50 mm x 40 mm
Hmotnost	54,6 g

Tabulka 33 - Parametry servomotoru

Pro řízení obou servomotorů horní nástavby je zvolena řídící jednotka typu CM-530.



Obr. 71 - Řídící jednotka CM-530 [23]

Napájení	6 - 15 V
Běžná spotřeba proudu	0,3 A
Operační teplota	-50°C ~ 70°C
Hmotnost	54 g

Tabulka 34 - Parametry řídící jednotky

10. Volba akumulátoru

Pro napájení robotu jsou zvoleny dva akumulátory, jeden pro podvozek a druhý pro horní modul.

10.1. Volba akumulátoru podvozku

Podvozek 24V					
Název	Počet kusů	Běžná spotřeba kusu (A)	Startovací spotřeba kusu (A)	Jmenovitá spotřeba (A)	Startovací spotřeba (A)
Motor - GR 42x25, 15 W	4	0,9	4	3,6	16
Brzda - E 38 R	4	0,2	0,2	0,8	0,8
Enkodér - ME 52	4	0,03	0,03	0,12	0,12
Řídicí elektronika - BGE 3508	4	0,04	0,04	0,16	0,16
Ultrazvukový senzor	16	0,0044	0,0044	0,0704	0,0704
Mini PC	1	2,7	2,7	2,7	2,7
Celkem				7,4504	19,8504

Tabulka 35 - Spotřeba proudu jednotlivých součástí podvozku

Při návrhu akumulátoru se uvažuje zatížení motorů z 40%. Jmenovitou spotřebu je tedy nutno vynásobit 0,4.

$$I_{JR} = I_J * 0,4 \quad (13)$$

Kapacita baterie se vypočte jako součin redukované běžné celkové spotřeby a doby provozu. Celkovou kapacitu je nutno vynásobit kapacitní rezervou 1,2 (pokud uvažujeme 20%)

$$I_K = I_{JR} * t * 1,2 \quad (14)$$

Pokud uvažujeme provozní dobu 2 hodiny, po dosazení do vztahů (13) a (14) je možno vypočítat celkovou kapacitu akumulátoru podvozku.

$$I_{JR} = 7,4504 * 0,4 = 2,98 \text{ A}$$

$$I_K = 2,98 * 2 * 1,2 = 7,15 \text{ Ah}$$

Volba baterie podvozku



Obr. 72 - Akumulátor podvozku[24]

Napětí	24 V
Kapacita	8Ah
Kontinuální proud	8A
Maximální proud	24 A
Rozměry	85x110x300

Tabulka 36 - Parametry baterie podvozku

10.2. Volba akumulátoru horního modulu

Horní modul 12V					
Název	Počet kusů	Běžná spotřeba kusu (A)	Startovací spotřeba kusu (A)	Celková spotřeba (A)	Startovací celková spotřeba (A)
Dynamixel AX-18A	2	0,9	2,2	1,8	4,4
CM-530	1	0,3	0,3	0,3	0,3
Celkem				2,1	4,7

Tabulka 37 - Spotřeba proudu jednotlivých součástí horního modulu

Pokud uvažujeme provozní dobu 2 hodiny, po dosazení do vztahů (13) a (14) je možno vypočítat celkovou kapacitu akumulátoru horního modulu.

$$I_{JR} = 2,1 * 0,4 = 0,84 \text{ A}$$

$$I_K = 0,84 * 2 * 1,2 = 2,1 \text{ Ah}$$

Volba akumulátoru horního modulu



Obr. 73 - Akumulátor horního modulu [25]

Napětí	12 V
Kapacita	3Ah
Kontinuální proud	3A
Maximální proud	14 A
Rozměry	150x35x72

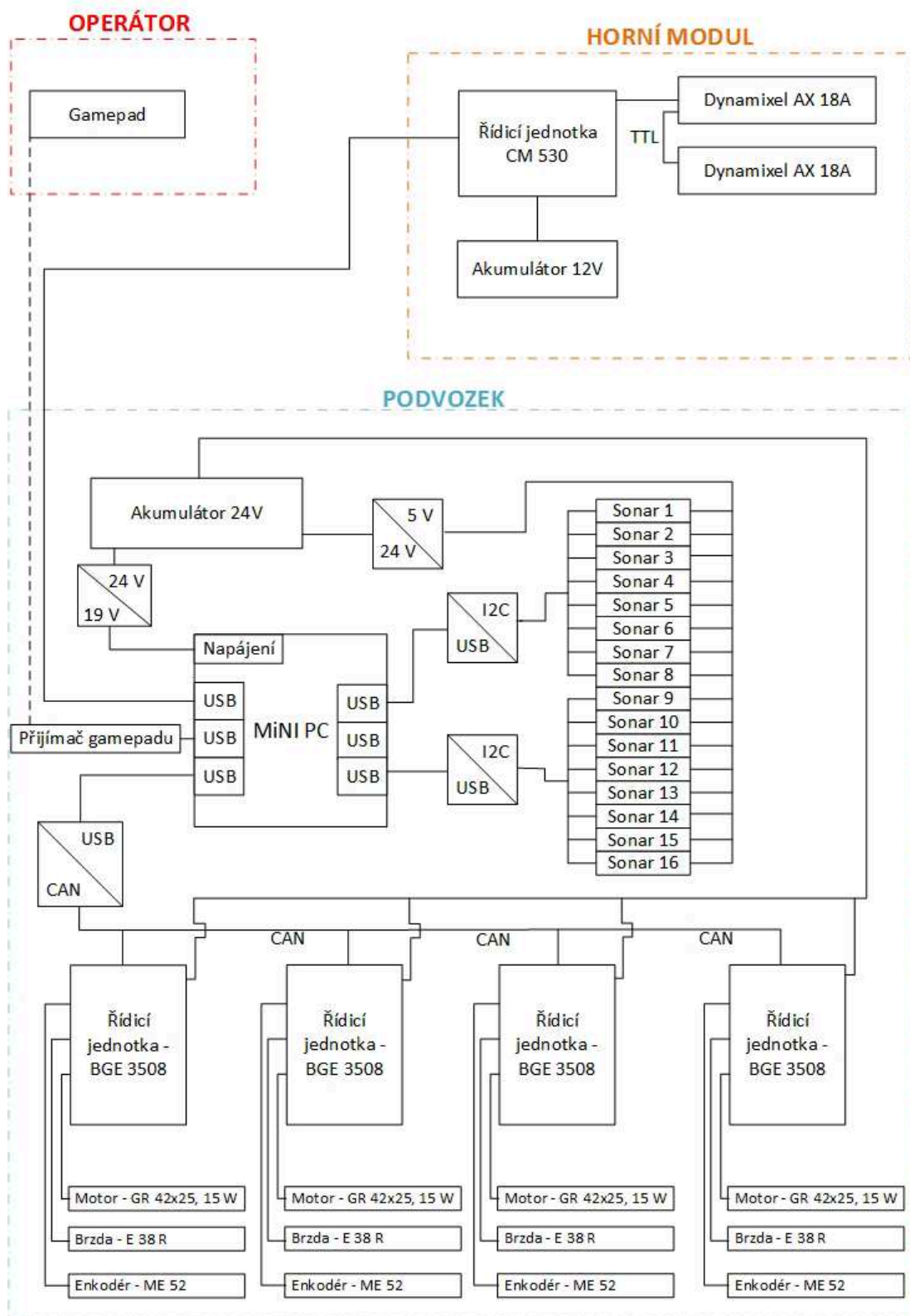
Obr. 74 - Parametry akumulátoru horního podvozku

11. Popis zapojení elektroniky

Podvozek – řídicí jednotky, ke kterým jsou připojeny motory, brzdy a enkodéry, jsou propojeny pomocí rozhraní CAN a k počítači připojeny přes převodník CAN/USB. Ultrazvukové senzory (sonary) jsou po osmi přivedeny k I2C/USB převodníku a zapojeny k mini PC. Napájení podvozku zajišťuje akumulátor (24 V). Vhodné napětí je zajištěno odporovými děliči (obr. 72)

Horní modul – řídicí jednotka CM-530 je napájena akumulátorem (12V). Servomotory jsou mezi sebou propojeny pomocí sériové linky TTL, stejně tak jsou propojeny s řídicí jednotkou.

Operátor – komunikace mezi robotem a operátorem je zajištěna pomocí gamepadu. Příjímač je zapojen do portu USB na mini PC. Operátor bude mít robot neustále na dohled, vzdálenost, na kterou je možno ovládat dosahuje 15 m. Jelikož robot bude v místnosti a operátor ho bude popisovat nebo předvádět funkce, není potřeba delší vzdálenost.



Obr. 75 - Blokové schéma

11.1. Gamepad Thrustmaster Wireless



Obr. 76 - Thrustmaster T [Prozatím 26]

Komunikace	Bezdrátová přes USB 2.4 GHz
Analogy	Rozsah 360°
Napájení	3x AAA baterie

Tabulka 38 - Parametry gamepadu

12. Cenová kalkulace

Celková cena je vypočtena jako součet cen elektroniky a pohonů, nakupovaných konstrukčních komponent a vyráběných dílů.

Elektronika a pohony			
Název	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
Mini PC	1	7600	7 600
Řídicí jednotka BGE 3508	4	4914	19 656
Motor GR 42 s převodovkou PLG 52	4	12519	50 076
Brzda E 38	4	2459	9 836
Enkodér ME 52	4	1715	6 860
Akumulátor 24 V	1	3849	3 849
Řídicí jednotka cm-530	1	2337	2 337
Dynamixel AX-18A	2	2220	4 440
Akumulátor 12V	1	2340	2 340
Ultrazvukový senzor	16	1146	18 336
Gamepad	1	949	949
Převodník CAN/USB	1	561	561
Převodník I2C/USB	2	680	1 360
Odporový dělič	2	350	700
Tablet Hannspree HannsPad 13.3"	1	6990	6 990
Cena celkem			135 890 Kč

Tabulka 39 - Cena elektroniky a pohonů

Nakupované konstrukční díly				
Název	Počet kusů	Délka [mm]	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
Item profily 8 (40x40mm)	5	500	453	2 265
	4	290	284	1 136
	4	620	579	2 316
	4	170	199	796
	2	570	537	1 074
	1	120	157	157
	1	700	622	622
Spojovací materiál	x	x	x	2 000
Všesměrová kola (sada 4 kol)	1	x	x	10 740
Ložisko 6004-2RSH	8	x	71,5	572
Ložisko XV30	1	x	1170	1 170
Cena celkem				22 848 Kč

Tabulka 40 - Nakupované konstrukční díly

Vyráběné díly					
Název	Cena materiálu [Kč]	Doba práce [h] / ks	Cena/hodina [Kč]	Počet kusů	Cena celkem [Kč]
Hřídel	73	0,5	500	4	1 292
Ložiskový domek	200	1,5		4	3 800
Víko	48	0,5		4	1 192
Přípravek pro uchycení horního modulu	110	1		4	2 440
Přípravek pro šroub horního modulu	50	0,5		2	600
Držák převodovky	50	1		4	2 200
Držák servomotoru	70	1,5		1	820
Stojan	300	0,5		1	550
Rám natáčení	120	1,5		1	870
Držák monitoru	130	1		1	630
Pogumované kola	400	1		2	1 800
Plastové desky	400	0,5		2	1 300
Rám pro akumulátory a PC	3000	3D tisk	x	3	9 000
Krytování	x	x	x	x	80 000
Montáž	x	12	500	x	6 000
Cena celkem					112 494 Kč

Tabulka 41 - Cena vyráběných dílů

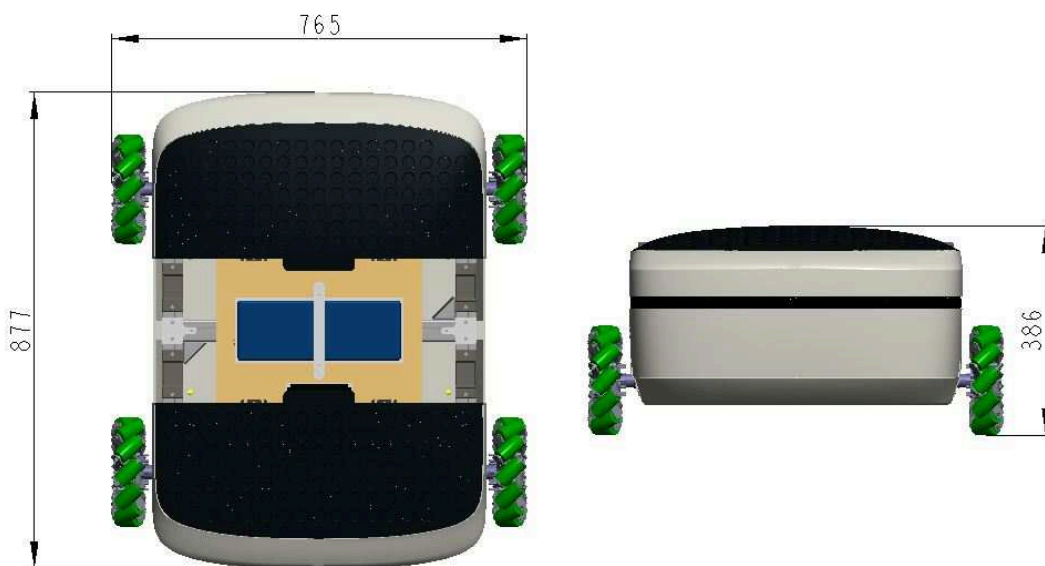
Název	Cena [Kč]
Elektronika a pohony	135 890
Nakupované konstrukční díly	22 848
Vyráběné díly	112 494
Cena robotu	271 232 Kč

Tabulka 42 - Celková cena robotu

Celková cena robotu se pohybuje kolem 280 tisíc Kč. Tato cena je pouze orientační, jelikož není přesně specifikována cena krytování. Kdyby došlo k sériové výrobě, vyrobily by se formy pro vstřikování. Pokud bude výroba kusová, kryty by byly vyrobeny vakuováním. Pro cenovou kalkulaci byla zvolena částka ve výši 80 000 Kč, viz tabulka 41. Cena byla spočtena dle kurzovního lístku ČNB ze dne 6. 5. 2016.

13. Parametry robotu

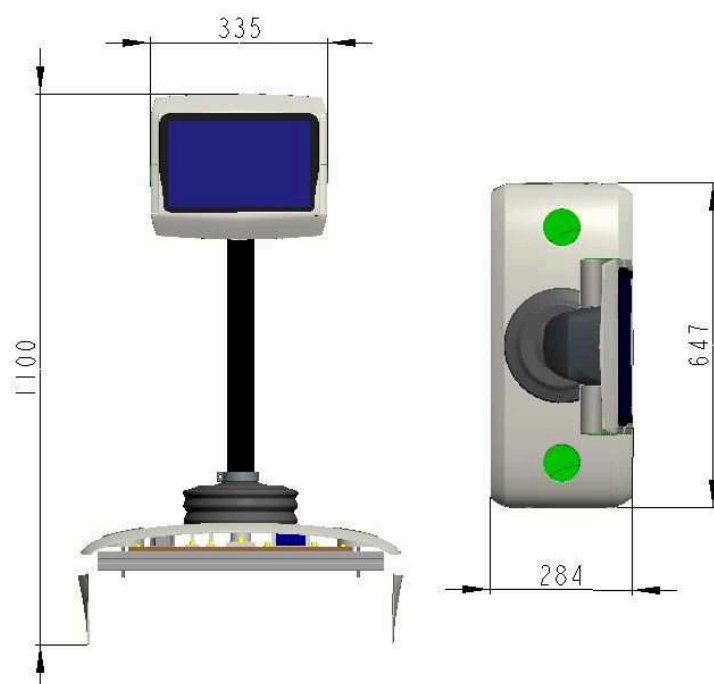
Postupně jsou sepsány parametry podvozku, horního modulu a celkové sestavy. Na obrázcích 77-79 jsou znázorněné rozměry.



Obr. 77 - Rozměry podvozku

Parametry podvozku	
Výška	386 mm
Šířka	765 mm
Délka	877 mm
Hmotnost	41,9 kg

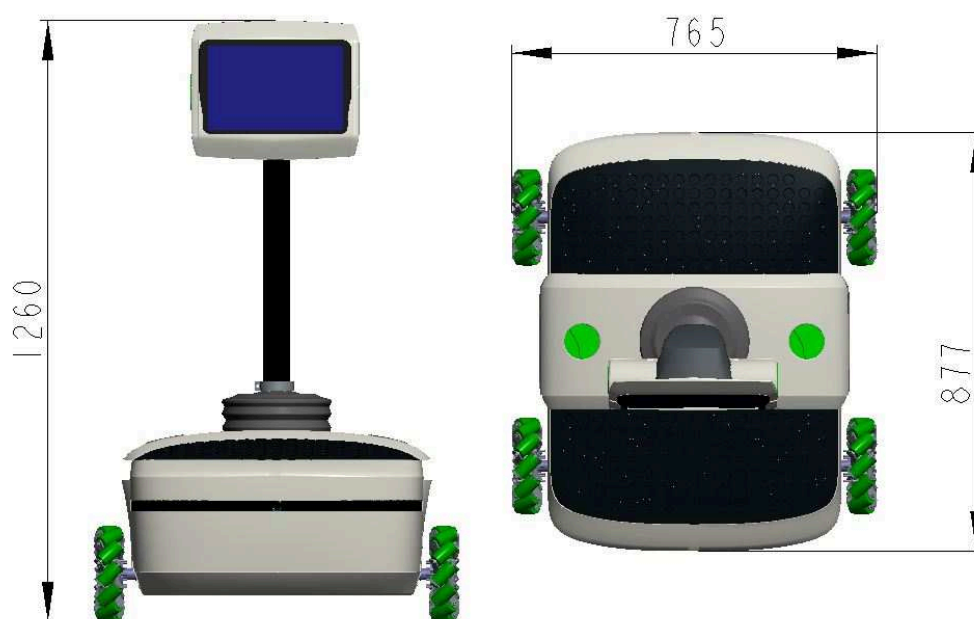
Tabulka 43 - Parametry podvozku



Obr. 78 - Rozměry horního modulu

Parametry horního modulu	
Výška	1100 mm
Šířka	647 mm
Délka	284 mm
Šířka rámečku	335 mm
Hmotnost	15 kg

Tabulka 44 - Parametry horního modulu



Obr. 79 - Rozměry robotu

Parametry robotu	
Rychlost	0,5 m*s ⁻¹
Zrychlení	0,5 m*s ⁻²
Průměr kol	20,32 mm (8 ")
Světla výška podvozku	55 mm
Výška	1260 mm
Šířka	765 mm
Délka	877 mm
Hmotnost	56,9 kg

Tabulka 45 - Parametry robotu

14. Závěr

Byl proveden návrh robotu pro prezentaci Katedry robotiky. V úvodu byla zpracována analýza současného stavu robotu s obrazovkami. Dále byla podrobně popsána servisní úloha, z níž vzešly doplňující parametry do požadavkového listu.

Z důvodu požadavku rozložitelnosti robotu pro transport, byly navrženy dvě varianty pro podvozek a dvě varianty pro horní modul (trup). Byla provedena kritériální analýza, kde vzešly vítězné varianty podvozku (tedy varianta se všesměrovými koly) a horního modulu (natáčení ramene rotace a naklápění tabletu). Kombinací vítězných variant vznikla optimální varianta robotu.

Podvozek je tvořen hliníkovými profily, ke kterým jsou přišroubovány veškeré komponenty. Pro pohony všesměrových kol byly na základě výpočtu zvoleny motory s planetovými převodovkami firmy Dunkermotoren. Akumulátor s mini PC je umístěn ve středu podvozku v rámech vytvořených 3D tiskem. Na horním profilu podvozku jsou umístěny přípravky pro úchyt horního modulu.

Rám horního modulu tvoří stejně jako u podvozku hliníkové profily, ke kterým je přišroubována plastová deska, na níž jsou umístěny všechny komponenty. Pouze stojan ramena rotace je uchycen přímo k profilu. Uložení ramena rotace na stojanu zajišťuje ložisko se zkříženými válečky, to zachycuje jak radiální a axiální síly, tak i klopné momenty. Rotaci ramena zajišťuje servomotor firmy Dynamixel pomocí třetího převodu. Síla přitlaku se nastavuje přitlačným šroubem. Tento převod je zvolen z hlediska bezpečnosti (pokud dojde k zaseknutí – převod proklouzne) a jako ochrana servomotoru. Pro akumulátor je vytvořen rám pomocí 3D tisku. Tablet se vloží do rámečku,

který se skládá z horní a spodní části, ty se mohou vůči sobě natáčet o 15°, jejich poloha je pak zajištěna šrouby. Tak může dojít k vložení a vytáhnutí tabletu. Natáčení tabletu je realizováno servomotorem, který přímo natáčí držákem tabletu. Celý mechanismus natáčení je uchycen k rameni rotace.

Na design krytu byl kladen velký důraz, proto jsem o pomoc poprosil mého kolegu. Ten vytvořil kryty, které jsme spolu upravovali, až do konečné podoby. Kryty jsou vyrobeny z plastu a uchyceny přímo k hliníkovým profilům rámu. Cenu krytu je však těžké odhadnout, pokud by došlo k sériové výrobě, vyrobily by se formy na vstřikování. Pokud by byla výroba kusová, vyráběly by se vakuováním. Pro cenovou kalkulaci se uvažovalo s cenou kolem 80 000 Kč.

Z hlediska bezpečnosti byl boční kryt osazen 16 - ti ultrazvukovými senzory, ty jsou po obvodu rozmístěny tak, aby pokryli celou oblast robotu. Pokud se někdo přiblíží na vzdálenost 10 cm od senzoru, dojde k zabrzdění všech pohonů podvozku. Nedojde tak k najetí do překážky nebo poranění člověka.

Operátor bude mít robot celou dobu v přímé viditelnosti, bude ho ovládat pomocí gamepadu. Na tabletu se může přehrávat prezentační video katedry nebo jiné vzdělávací materiály.

Pro robot je potřeba dodělat software. Bylo by vhodné umístit napájecí konektory a USB pro připojení horního modulu na dostupné místo k hornímu hliníkovému profilu. Podle testu již navrženého podvozku se všesměrovými koly na Katedře robotiky by bylo vhodné doplnit podvozek o odpružení i přes to, že se bude s robotem jezdit ve vnitřních prostorech.

15. Použitá literatura

- [1] RBOT. *The robot, lulling children* [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://rbot.com/?p=4763>
- [2] Japan Bullet. Hospi Rimo Robot [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.japanbullet.com/technology/panasonic-hospi-rimo-robot>
- [3] Double robotics. Double [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.doublerobotics.com/>

- [4] Techpedia. Buddy [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.techpedia.sk/technologie-pre-ludi/novinky/robotika-a-kybernetika/2050/buddy-roboticky-kamarat-pre-celu-vasu-rodinu>
- [5] Plasticpals. Education Robot [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.plasticpals.com/?p=17362>
- [6] Techcrunch. Robotic butlers [online]. 2014 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://techcrunch.com/2014/08/13/starwood-introduces-robotic-butlers-at-aloft-hotel-in-palo-alto/>
- [7] Fastcompany. Robot butlers [online]. 2015 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://www.fastcompany.com/1739734/robot-butlers-are-finally-reality>
- [8] CDR. Pepper [online]. 2015 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: <http://cdr.cz/clanek/v-japonsku-zacnou-prodavati-robotu-ktery-reaguje-podle-lidskych-emoci/diskuseNovinkyTechnologieRobotika>
- [9] RFID-EPC. RFspot Pro [online]. 2015 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: <http://www.rfid-epc.cz/clanky/moda/tesco-ja-rfid-robot-s543461691>
- [10] Profily ITEM. Haberkorn [online]. 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/system-hlinikovych-profilu/>
- [11] T-slot matice. Item24 [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.item24us.com/products/product-catalog/products/hammerhead-nut.html>
- [12] Oldhamová spojka. Autolexicon [online]. 2011 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/oldhamova-spojka/>
- [13] 8" MECANUM WHEELS. AndyMark [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.andymark.com/Mecanum-s/53.htm>
- [14] Intel NUC Kit D54250WYK. CZC.CZ [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.czc.cz/intel-nuc-kit-d54250wyk/139267/produkt>
- [15] Pogumování válců. AGT Zlín [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.edb.cz/clanek-188-pogumovani-valcu-kol-a-kladek-s-vyssi-zivotnosti>
- [16] Hannspree HannsPad. Mall [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://www.mall.cz/tablety-uhlopricka/hannspree-hannspad-133-titan-sn14t72b?utm_source=heureka.cz&utm_medium=cse&utm_campaign=EG&utm_content=tablety-uhlopricka&utm_term=786441
- [17] Kluzné pouzdro. SKF [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/spherical-plain-bearings-bushings-rod-ends/composite-dry-sliding-bearings-fw->

bushings/bushings/index.html?designation=PCMF%20121407%20E&unit=metricUnit

- [18] MaxSonar. Maxbotix [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB1202.htm
- [19] Manžety. Teguza [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.teguza.cz/sortiment/>
- [20] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [21] Kombinace pro motor GR 42x25. Dunkermotoren [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.dunkermotoren.com/default.asp?gid=6&bid=1&cid=20&sid=4&lang=8&id=9&mid=5>
- [22] Dynamixel AX-18A. Robotis [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.robotis.us/dynamixel-ax-18a/>
- [23] CM-530. Robotis [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.robotis.us/cm-530/>
- [24] 24v-8ah-li-polymer. Alibaba [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/24v-8ah-li-polymer-ebike-rechargeable_578183407.html?spm=a2700.7724857.29.181.HNeGrX
- [25] 12V-3Ah battery. Alibaba [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/12V-3Ah-High-Quality-Emergency-Light_467608787.html?spm=a2700.7724838.0.0.yMfjj9
- [26] Thrustmaster-t. Czc.cz [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/thrustmaster-t-wireless-bezdratovy-2-ks-pc-ps3/123428/produkt>

16. Seznam obrázků

Obr. 1 - Robot Air Bot [1].....	14
Obr. 2 - Robot HOSPi Rimo [2].....	15
Obr. 3 - Double robot [3]	16
Obr. 4 - Robot Buddy [4]	17
Obr. 5 – Robot Baby [5].....	17
Obr. 6 - Robot Boltr [6].....	18

Obr. 7 - Robot Reem [7].....	19
Obr. 8 - Robot Pepper [8].....	20
Obr. 9 - Robot Robbie [9]	22
Obr. 10 - Varianta A – podvozek	25
Obr. 11 - Varianta A - podvozek_2.....	26
Obr. 12 - Varianta A - podvozek – krytování	26
Obr. 13 - Varianta B – podvozek	27
Obr. 14 - Varianta B – krytování.....	28
Obr. 15 - Varianta A - horní modul.....	29
Obr. 16 - Varianta A - naklápění monitoru	29
Obr. 17 - Varianta A – krytování	30
Obr. 18 - Varianta B - horní modul.....	31
Obr. 19 - Varianta B - krytování	31
Obr. 20 - Optimální varianta podvozku	35
Obr. 21 - Optimální varianta horního modulu.....	38
Obr. 22 - Optimální varianta robotu.....	38
Obr. 23- Rám podvozku	39
Obr. 24 - Spojovací úhelník	40
Obr. 25- Uchycení součástí k rámu (vlevo), T slot matice (vpravo) [11].....	40
Obr. 26 - Uložení kola a pohonu	41
Obr. 27 - Řez uložením kola	41
Obr. 28- Všesměrové kolo s přírubou	42
Obr. 29 - Uchycení ložiskového domku.....	42
Obr. 30 - Spojka Oldham [12].....	43
Obr. 31 - Všesměrová kola [13]	43
Obr. 32- Deska pro elektrokomponenty	44
Obr. 33 - Rozmístění elektrokomponent.....	44
Obr. 34 - Mini PC [14]	45
Obr. 35 - Úchyty pro horní modul.....	46
Obr. 36 - Rám horního modulu	46
Obr. 37 - Deska horního modulu.....	47
Obr. 38 - Rozmístění komponent horního modulu	48
Obr. 39 - Uchycení servomotoru.....	48
Obr. 40 - Řez ramenem rotace	49
Obr. 41 - Rám tabletu.....	50

Obr. 42 - Montáž rámečku	50
Obr. 43 - Funkce rámu tabletu	51
Obr. 44 – Tablet [16].....	51
Obr. 45 - Naklápění tabletu	52
Obr. 46 - Uchycení rámu tabletu k držáku	52
Obr. 47 - Uchycení natáčecího mechanismu k profilu.....	53
Obr. 48 - Kluzné pouzdro.....	53
Obr. 49 - Spodní kryt.....	54
Obr. 50 - Boční kryt	55
Obr. 51- Horní kryt podvozku – mřížka.....	55
Obr. 52 - Rozmístění senzorů a úchyt pro přenos robotu	56
Obr. 53 - Uchycení ultrazvukových senzorů ke krytu	57
Obr. 54 - Ultrazvukový senzor [18]	57
Obr. 55 - Střední kryt	58
Obr. 56 - Kryt ramene rotace	58
Obr. 57 - Spodní manžeta.....	59
Obr. 58 - Horní manžeta.....	59
Obr. 59 - Připojení horního modulu k podvozku	60
Obr. 60 - Kompletní robot - pohled zepředu.....	61
Obr. 61 - Kompletní robot - pohled zezadu	62
Obr. 62 - Detail zajišťovacího šroubu	62
Obr. 63 - Kompletní robot - detail na logo katedry.....	63
Obr. 64- Schéma působení odporů na podvozek.....	65
Obr. 65 - Motor GR 42x25 [21]	69
Obr. 66 - Planetová převodovka PLG 52 [21]	69
Obr. 67 - Brzda E 38 R [21]	70
Obr. 68 - Enkodér ME 52 [21]	70
Obr. 69- Řídící jednotka BGE 3508 [21]	70
Obr. 70 - Servomotoru Dynamixel AX-18A [22]	73
Obr. 71 - Řídící jednotka CM-530 [23]	73
Obr. 72 - Akumulátor podvozku[24].....	75
Obr. 73 - Akumulátor horního modulu [25].....	76
Obr. 74 - Parametry akumulátoru horního podvozku.....	76
Obr. 75 - Blokové schéma.....	77
Obr. 76 - Thrustmaster T [Prozatím 26].....	78

Obr. 77 - Rozměry podvozku	80
Obr. 78 - Rozměry horního modulu	81
Obr. 79 - Rozměry robotu	81

17. Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1 - Požadavkový list	24
Tabulka 2- Hodnocená kritéria podvozku	32
Tabulka 3 - Stupnice hodnocení	33
Tabulka 4 - Významnost kritérii	33
Tabulka 5- Určení váhy významnosti kritérií podvozku.....	33
Tabulka 6- Hodnocení varianty A – podvozek	34
Tabulka 7 - Hodnocení varianty B – podvozek.....	34
Tabulka 8 - Hodnocená kritéria horního modulu	35
Tabulka 9 - Stupnice hodnocení	36
Tabulka 10 - Významnost kritérii	36
Tabulka 11- Určení váhy významnosti kritérií horního modulu.....	36
Tabulka 12- Hodnocení varianty A - horní modul	37
Tabulka 13- Hodnocení varianty B - horní modul	37
Tabulka 14 - Parametry mini PC.....	45
Tabulka 15 - parametry ultrazvukového senzoru	57
Tabulka 16 - Součinitel tření [20]	64
Tabulka 17 - Hodnoty pro rozjezd po rovině	65
Tabulka 18 - Vypočtené hodnoty pro rozjezd po rovině.....	66
Tabulka 19 - Rovnoměrný pohyb po rovině	66
Tabulka 20 - Vypočtené hodnoty pro rovnoměrný pohyb po rovině.....	66
Tabulka 21 - Hodnoty pro rozjezd po nakloněné rovině.....	67
Tabulka 22 - Vypočtené hodnoty pro rozjezd po nakloněné rovině	67
Tabulka 23 - Hodnoty pro rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině.....	67
Tabulka 24 - Vypočtené hodnoty pro rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině	68
Tabulka 25- Souhrn parametrů pohonu.....	68
Tabulka 26 - Parametry motoru	69
Tabulka 27 - Parametry převodovky	69
Tabulka 28 - Parametry brzdy	70

Tabulka 29 - Parametry enkodéru	70
Tabulka 30 - Parametry řídicí jednotky.....	71
Tabulka 31 - Parametry pro výpočet pohonu naklápění	71
Tabulka 32 - Parametry pro výpočet pohonu pro natáčení	72
Tabulka 33 - Parametry servomotoru.....	73
Tabulka 34 - Parametry řídicí jednotky.....	73
Tabulka 35 - Spotřeba proudu jednotlivých součástí podvozku	74
Tabulka 36 - Parametry baterie podvozku	75
Tabulka 37 - Spotřeba proudu jednotlivých součástí horního modulu	75
Tabulka 38 - Parametry gamepadu.....	78
Tabulka 39 - Cena elektroniky a pohonů	78
Tabulka 40 - Nakupované konstrukční díly	79
Tabulka 41 - Cena vyráběných dílů	79
Tabulka 42 - Celková cena robotu	80
Tabulka 43 - Parametry podvozku	80
Tabulka 44 - Parametry horního modulu	81
Tabulka 45 - Parametry robotu.....	82
 Graf 1 - Závislost počtu voleb na váze významnosti	34
Graf 2- Závislost počtu voleb na váze významnosti	37

18. Seznam příloh

1. Výpočty

- a) Výpočet hřídele
- b) Výpočet kuličkového ložiska
- c) Výpočet pera
- d) Výpočet ložiska se zkříženými válečky
- e) Pevnostní analýza rámu naklápění

2. Výkresová dokumentace

- a) Výkres hřídele
- b) Výkres ložiskového domku

- c) Výkres víka
- d) Sestavný výkres podvozku
- e) Sestavný výkres horního modulu
- f) Sestavný výkres robotu